

УДК 59(081)
ББК 26я44
В35

Составитель
академик *Э.М. Галимов*

Вернадский В.И.

Собрание сочинений : в 24 т. / В.И. Вернадский ; под ред. академика Э.М. Галимова ; Ин-т геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского ; Комиссия РАН по разработке научного наследия академика В.И. Вернадского. – М. : Наука, 2013– . – ISBN 978-5-02-038093-6.

Т. 5. История минералов земной коры. История природных вод / науч. ред. и сост. академик Э.М. Галимов. – 2013. – 518 с. – ISBN 978-5-02-038100-1 (в пер.).

Предлагаемое Собрание сочинений в 24-х томах включает почти все научные работы В.И. Вернадского, тексты выступлений, дневники и основную часть его эпистолярного наследия. Основу настоящего издания составили тематические выпуски, публиковавшиеся в виде отдельных книг, начиная с 1992 г., в серии «Библиотека трудов академика В.И. Вернадского» Комиссией РАН по разработке научного наследия В.И. Вернадского. В собрание включены также избранные сочинения В.И. Вернадского в пяти томах, изданные Институтом геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (тогда АН СССР) в 1954–1960 гг., а также прижизненные и другие издания.

В пятом томе собрания сочинений излагается история природных вод, В.И. Вернадский рассматривает природные воды как минералы в сочетании с солевой и газовой составляющими воды. Такое рассмотрение не принято в современной минералогии, что делает содержание пятого тома уникальным. Лучше всего это определил сам В.И. Вернадский, заметив, что его книга «охватывает минералогию земных вод в таком аспекте, в каком многочисленные исследователи вод к ней не подходили, но который позволяет сделать выводы, имеющие значение не только для минералога или геохимика, но и для биолога, геолога и геофизика».

ISBN 978-5-02-038093-6
ISBN 978-5-02-038100-1 (т. 5)

© Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И. Вернадского РАН, Комиссия РАН
по разработке научного наследия академика
В.И. Вернадского, 2013
© Галимов Э.М., составление, предисловие, 2013
© Редакционно-издательское оформление.
Издательство «Наука», 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЯТОМУ ТОМУ*

В пятом томе настоящего собрания сочинений В.И. Вернадского помещена вторая книга его монографии «История минералов земной коры». Она печатается здесь по тексту книги 2 «Избранных сочинений» (т. IV, Изд. АН СССР, 1960 г.). Первоначально у редактора было намерение воспроизвести в качестве 5-го тома выпущенную в серии «Библиотека трудов академика В.И. Вернадского» книгу «В.И. Вернадский. История природных вод» (Изд. Наука, 2003 г.) под редакцией С.Л. Шварцева и Ф.Т. Яншиной. Тем более, что на меня произвел впечатление упрек, сделанный редактору IV тома «Избранных сочинений» Б.Л. Личкову «в вольном обращении с авторским текстом» за некоторые произведенные им сокращения в тексте аналитических данных. Действительно, в собрании сочинений какие-либо сокращения, даже фрагментов, казалось бы, не имеющих научной ценности, не следует допускать. Однако анализ сделанных сокращений показывает, что они относятся скорее к дублирующим друг друга примерам состава вод и можно довериться авторитету А.П. Виноградова и Б.Л. Личкова, работавших вместе с В.И. Вернадским. С другой стороны книга «В.И. Вернадский. История природных вод» под редакцией С.Л. Шварцева и Ф.Т. Яншиной перегружена редакторскими комментариями, которые полезны сами по себе, но являются скорее излишними в издании собрания сочинений автора.

К тому же первая книга «История минералов земной коры», вошедшая в т. 4 настоящего Собрания сочинений печатается по тексту т. IV (кн. 1) «Избранных сочинений». Поэтому в интересах сохранения стиля и формата публикации в конечном счете было принято решение воспроизвести в настоящем издании соответствующий текст из «Избранных сочинений». В то же время, изданная Комиссией по разработке научного наследия академика В.И. Вернадского работа «В.И. Вернадский. История природных вод» (Изд. Наука, 2003 г.), содержащая ценные комментарии ее редакторов, и упомянутые дополнительные данные, сохраняет свое значение.

В.И. Вернадский в число минералов земной коры включает газы и воду. Он пишет, что «этот способ рассмотрения вскрывает многие важные черты явлений, которые в ином рассмотрении упускаются». В современной

* См. общее предисловие к данному собранию сочинений В.И. Вернадского в первом томе, с. 5–8.

минералогии, тем не менее, этот подход не укрепился. Тем большее научное значение имеет излагаемая В.И. Вернадским история природных вод в «неразрывной, – как указывает В.И. Вернадский, – связи природных вод с твердым веществом земной коры, с ее газовым режимом и с живыми организмами».

В книге приводится в связи с таким рассмотрением новая общая классификация природных вод. В.И. Вернадский справедливо заметил, что его книга «охватывает минералогия земных вод в таком аспекте, в каком многочисленные исследователи вод к ней не подходили, но который позволяет сделать выводы, имеющие значение не только для минералога или геохимика, но и для биолога, геолога и геофизика».

Э.М. Галимов

**ИСТОРИЯ
МИНЕРАЛОВ
ЗЕМНОЙ КОРЫ**

Том II

**ИСТОРИЯ
ПРИРОДНЫХ ВОД**

ОТ АВТОРА

(Предисловие к первому выпуску II тома
«Истории минералов земной коры»)

Я решаюсь выпустить первую часть второго тома «Истории минералов земной коры», заключающую «Историю природных вод», хотя ясно вижу ее значительные недостатки. Но этот том и без того задержался, и я не могу ускорить, изменить ход моей работы.

Я дам исправления и дополнения во второй части. Я отношу вследствие этого ко второй части, которую надеюсь скоро выпустить в свет, и главу о геохимии природных вод, которая должна была бы заключать первую часть.

Побуждает меня к этому главным образом то, что мне представляется необходимым попытаться возможно скорее значительно изменить обычную у нас методику научной работы при исследовании природных вод. Эта методика представляется мне во многом неудовлетворительной.

При огромной сейчас у нас идущей работе над изучением природных вод необходимо для сохранения научно важных данных не терять времени и ввести необходимые изменения быстро.

Таковыми необходимыми изменениями являются: 1) точное определение положения природных вод в геосферах, чего обычно не делается для большинства подземных вод, и 2) изменение характера анализов. Необходимо ввести как обязательное требование количественное определение растворенных газов и выражение свободно выделяющихся газов в весовых единицах вод, из которых они выделяются.

К тому же предлагаемая новая классификация природных вод, выделяющая впервые 480 минеральных видов природных вод, выясняет основные пробелы нашего знания в химии природных вод, требующие скорейшего пополнения. Может быть, она заставит обратить внимание на менее изученные воды; сейчас это выяснить трудно.

Книга эта, впервые после Гаюи, минералогия которого вышла в свет более 100 лет тому назад, рассматривает природные воды как минералы. Автору кажется, что этот способ рассмотрения вскрывает многие важные черты явлений, которые в ином рассмотрении упускаются.

В связи с таким рассмотрением в книге проводится единая общая для всех природных вод новая классификация вод, которая позволяет выражать все воды формулами, стоящими вне каких бы то ни было гипотез. Автору кажется, что формулы получаются из анализов просто; они определяют господствующую декаду химических элементов (учитывая и растворенные газы).

Следующие основные представления лежат в основе предлагаемой здесь минералогии природных вод, автору кажется, – упрощающие и обобщающие их изучение.

1. Понятие о неразрывной связи природных вод с твердым веществом земной коры, с ее газовым режимом и с живыми организмами. Эта связь может быть научно изучаема, т.к. природные воды являются соответственными неоднородными подвижными равновесиями.

2. Понятие о геосферах, слагающих земную кору, проникнутых каждая своими водами и отвечающими им неоднородными равновесиями.

3. Понятие о диссимметрии земной коры, резко разделяющей воды суши и воды океанических бассейнов не только в их поверхностном выражении.

4. Понятие о закономерной смене подземных атмосфер в геосферах, отражающееся прежде всего на газовой составной части природных вод.

Автор мог уделять этой книге только свои досуги. Этим объясняется то, что были сделаны некоторые важные упущения, исправлять которые сейчас невозможно, если решаешься выпустить книгу.

Главным является то, что не учтено число анализов, которые определяют пределы колебаний компонентов вод. Способ определения состава минералов пределами компонентов был принят автором еще в первом издании его лекций минералогии в Московском университете, почти 30 лет назад, и кажется ему удобным для научной работы. Но при точной работе необходимо знать, какому числу наблюдений отвечают указываемые пределы. Не учтя этого в начале работы, позже поправить дело было уже невозможно. Очевидно дело дальнейшей работы (если этот прием обозначения привьется) – исправить приводимые здесь числа.

Автор также вполне сознает неполноту охваченного им, хотя и большого, фактического материала, что также отражается на точности пределов колебаний.

Читатель должен помнить, что это первая попытка, а не окончательная сводка. Сводка может быть дана только систематически организованной, коллективной, а не единичной работой.

Было бы желательно, если основные принципы определения состава, здесь вводимые, будут встречены сочувственно, чтобы такая систематическая организация была осуществлена, и чтобы таблицы, характеризующие воды, были проверены и заменены новыми.

По плану книги следующий том должен был заключать остающиеся водородистые минералы: углеводороды, сероводород, аммиак и т.д.

Но, учитывая свои годы, автор считает более для себя правильным вместо них заняться подготовкой к печати тома, посвященного соединениям кремния и алюминия.

Ему кажется, что огромная масса новых данных, в этой области добытых, – в частности анализом минералов в X-лучах, оставляет незабываемыми в основном созданные им больше 30 лет назад представления о строении природных силикатов и алюмосиликатов, как о сложных алюмокремневых (и аналогичных) кислотах, их солях, их ангидридах и продуктах присоединения к ним и о выявлении среди природных минералов трех главных резко различных по структуре тел–соединений каолинового ряда, хлоритов и хло-

ритоидов. Каолиновые силикаты обладают кольцевым строением, хлориты и хлоритоиды обладают строением цепи.

Новая проверка этой научной гипотезы на большом материале, скопившемся за последние тридцать слишком лет, является поэтому желательной.

Ввиду этого, вместо третьего тома (углеводороды, сероводород и т.д.) автор после второго тома (природные воды) думает издать четвертый (соединения кремния и алюминия).

Старый Петергоф. Сентябрь, 1931

ОТ АВТОРА

(Предисловие ко второму выпуску II тома
«Истории минералов земной коры»)

Второй выпуск задержался не по вине автора. В нем перепечатываются последние две страницы первого выпуска, и при переплете вместе всех трех выпусков первого тома «Истории природных вод» надо заместить ими соответствующие страницы из первого выпуска.

Автор считает своим долгом указать, что приводимые в этом выпуске таблицы анализов не могут считаться не только окончательными, но и не охватывают всего материала, имеющегося в литературе. Он смотрит на эти данные, как на первое приближение. Все пересчеты в значительной мере ему пришлось делать одному, и лишь к концу работы он мог пользоваться помощью вычислителя. Необходимо в следующем издании, если оно будет, пересмотреть и переработать весь материал вновь и организовать эту работу коллективно. Он думает, что эти таблицы имеют не только научное, но и практическое значение. Сознавая неполноту данных, неизбежную при такой работе, он все же считает полезным дать и эти предварительные числа.

Дополнения и исправления он даст в конце книги во втором томе. Там же будет указана литература.

Октябрь, 1934

ОТ АВТОРА

(Предисловие к третьему выпуску II тома
«Истории минералов земной коры»)

Книга эта выходила выпусками в течение целого ряда лет, отчасти по вине моей, отчасти благодаря медленности печатания, что, конечно, не могло не отразиться на ее содержании – особенно в такой области знания, как история земных вод, тесно связанной с геохимией, находящейся в бурном развитии, как все науки об атомах.

Поэтому в конце книги (в третьем выпуске, подписанном к печати в марте 1936 г.) можно было коснуться ряда явлений, о которых не могло бы быть и речи в первом выпуске. Так только здесь можно было принять во внимание существование изотопических разностей воды – тяжелых вод, – так глубоко меняющее наши основные представления о земных водах и ставящее совершенно новые проблемы для решения.

Устарел уже сейчас список известных минералов группы природных (лучше сказать «земных») вод, напечатанный в 1933 г. (на стр. 183–203). Сейчас выяснилось существование 43 подцарств (вместо указанных 39), 143 семейств (вместо указанных 130) и 531 вида (вместо указанных 486). Более тщательный пересмотр данных, чем это мог делать – среди других своих работ – автор, очевидно, и сейчас значительно увеличил бы эти числа. С 1933 г. число видов земных вод, существование которых мы должны считать установленным, близко к 600, т.е. благодаря росту нашего знания, мы должны увеличить число видов 1933 г. больше, чем на 23,5%. Мы далеки еще от точного учета. Это дает понятие о точности нашего современного знания и о мере его роста.

Все это заставляет автора, прежде чем издавать вторую часть книги, дать второе издание первой. Вторая часть должна была заключать геохимию земных вод¹ и историю вод в каждой геосфере отдельно.

Подготавливая второе (французское) издание, автор одновременно предполагает выпустить новым русским изданием все вышедшие выпуски в виде одного тома. Очевидно, это издание должно быть совсем независимым от «Истории минералов земной коры». Года автора вряд ли дадут ему возможность закончить этот труд, как он это предполагал, начиная его издавать в 1933 г. На этом томе – первой части истории природных вод – «История минералов земной коры» должна прекратиться.

¹ Правильнее говорить о земных водах, а не о природных, так как минералы группы воды существуют и на других небесных телах.

Упомянутый в предисловии к первому выпуску (1931 г.) этой книги (с. 9) четвертый том останется ненаписанным. Его может заменить выходящая в этом году, сданная в печать, книга автора и С.М. Курбатова «Природные силикаты, алюмосиликаты и их аналоги» – переиздание лекций минералогии автора в Московском университете, вышедших в 1910–1912 гг. Они приведены сколько возможно к современному уровню знаний.

В виду полного отсутствия в научной литературе минералогии земных вод и огромного – по мнению автора – теоретического и практического значения минералогии вод, он хотел бы закончить книгу, написать и издать и вторую часть. Книга эта, сводящая жизненную работу автора, которую он вел в часы досуга, является не только первой минералогией земных вод, но и охватывает ее в таком аспекте, в каком многочисленные исследователи вод к ней не подходили, но который позволяет сделать выводы, имеющие значение не только для минералога или геохимика, но и для биолога, геолога и геофизика. Автор, уже когда первая часть была написана и частично напечатана, встретился (1934) с небольшой работой этнолога и гидролога В. Мак Ги в Вашингтоне (Mac Gee, 1908, см. с. 272), который дал в 1908 г. яркое изложение своих представлений о водном строе Земли, во многом совпадающее с основными идеями, мною в научную работу вводимыми. Но, насколько знаю, он дал только общее программное изложение своих взглядов. Реально – минералогия вод в охвате Земли, как целого, дается в этой книге впервые.

Автор ясно видит недостатки своей книги, очевидно, даже не все. Особенно ясна необходимость указания хотя бы главной литературы, которую автор хотел дать во второй части, и пересмотр таблиц химического состава, на что автор указывал в предисловии ко второму выпуску (1934, октябрь). Литература должна быть введена во второе – русское издание, так как во французском автор может указать только главнейшую.

Автор надеется получить возможность сделать эти дополнения и дать указатель – во втором издании первой части на русском языке, заглавие которой при этом должно быть изменено – История вод Земли – Histoire des eaux terrestres – французской переработки.

Москва. Май, 1936

ИСТОРИЯ МИНЕРАЛОВ (продолжение)*

III. ВТОРОЙ ОТДЕЛ МИНЕРАЛОВ. ВОДОРОДИСТЫЕ МИНЕРАЛЫ (ГИДРИДЫ)

1. Общие замечания

1. Как было указано, водородистые минералы играют совершенно особую роль в истории земной коры (I, § 219**). Их выделение в особый отдел минералов, равнозначный с самородными элементами, с сернистыми, с кислородными и т.п. минералами, оправдывается глубоким своеобразием их морфологических и химических свойств, особенностями их земной истории.

Обычно их соединяют с разными группами минералов: сероводород относят к сернистым минералам, воду и лед к окислам, аммиак к нитридам, углеводороды выделяют в особую группу и т.п. С химической точки зрения это вполне допустимо и при изучении химии имеет иногда некоторые удобства.

Однако и в химии в последнее время гидриды – бинарные водородистые соединения – объединяются в отдельную естественную группу тел [Панет (Paneth, 1920–1928)]. Это еще более необходимо при изучении их минералогии, их истории в земной коре. Их разнесение в разные группы не дает ничего и затемняет представление об их роли в земных химических процессах.

Морфологически вода, водяной пар и лед резко отличны от всех окислов – как окислов металлов, так и металлоидов; газообразный сероводород еще менее сходен с теми металлическими телами, к группе которых он присоединяется; точно так же не сходны аммиак и углеводороды с металлическими нитридами и карбидами, с которыми их приходилось бы соединять в одну группу.

Различия химические не меньшие. Вода стоит совершенно особняком среди всех окислов и по своим удивительным и исключительным химическим свойствам. Уже старые химики правильно чувствовали особенности явлений, связанных с водой, аммиаком или сероводородом: их оставили отдельно и сравнивали с ними, как с разными особыми *типами* соединений, все другие аналогичные продукты химических реакций. Углеводороды всегда выделяются как особая группа.

* Начало: «Истории минералов земной коры» (кн. 1), в т. 4 настоящего собрания сочинений В.И. Вернадского.

** Ссылки с цифрой I здесь и в дальнейшем относятся к т. I «Истории минералов земной коры», помещенному в т. 4 настоящего собрания сочинений.

Еще более резко отличаются все эти тела в своей земной истории и в условиях своего образования в земной коре от тех тел, с которыми их: соединяли и минералогии и химии.

2. Их подвижность, легкий переход в термодинамических условиях земной коры из одного физического состояния в другое, их чрезвычайная и исключительная химическая активность резко отделяют их здесь от окислов, сернистых соединений, нитридов, карбидов, галоидных солей и т.п.

И в то же время выделенные отдельно они имеют между собою общие химические черты. Все они являются *водородными соединениями*, значение которых недостаточно оценивается обычно и в химии, но которые должны иметь особое значение в химии планет и небесных светил вообще, так как водород среди всех элементов занимает в химическом строении мироздания совершенно особое, несравнимое с другими элементами господствующее положение.

По тем обрывкам знаний, какие мы имеем о химии мироздания, это значение имеют атомы и молекулы свободного водорода, однако есть указания, все увеличивающиеся, на такое же значение и его соединений, В спектрах звезд имеются указания на существование водородистых соединений, по-видимому, гидридов, тел, устойчивых при высоких температурах и характерных для этих термодинамических областей, как это начинает выясняться и в наших лабораториях. В космической пыли, в метеоритах и в кометах несомненно присутствие углеводов¹. Химия планет, метеоритов, может быть космической пыли, указывает на распространение и наличие воды.

3. В полном согласии с этим является и значение водородистых бинарных соединений в химии нашей планеты.

По-видимому, изучая явления верхней ее оболочки, мы не имеем еще полного о нем представления. Мы не знаем среди минералов *водородистых металлов*, но логически признаки их существования указывались не раз при толковании генезиса ювенильных минералов и объяснении природных химических процессов. Наши представления о термодинамических и химических условиях глубин нашей планеты заставляют нас видеть в них среды, благоприятные для устойчивости, для существования водородистых тел. Здесь активность химических реакций уменьшается, кислород быстро сходит на нет, начинают все более и более преобладать металлы типа железа, и, по-видимому, растет количество водорода. В то же самое время температура и давление повышаются. Все это может приводить к образованию и сохранению в этих глубинах водородистых соединений².

Надо думать, что то проявление гидридов, которое мы наблюдаем в земной коре, является лишь слабым отголоском их значения в строении нашей планеты.

Указания, часто делаемые, на признаки нахождения тех или иных водородных минералов, ближе нам неизвестных, получают поэтому значение и требуют внимательного отношения.

¹ Условия проникновения этих тел в биосферу не дают возможности сохранения многих водородных соединений, например металлов, если бы они в них и существовали.

² В том числе растворов водорода в металлах.

4. Из трех классов гидридов, которые различает Ф. Панет (1928) – *летучих гидридов, солеобразных гидридов и металлических гидридов*, в земной коре известны с точностью только *летучие гидриды*. Они отвечают элементам, определенно расположенным в периодической системе, – первым четверем элементам, находящимся в длинных рядах перед благородными газами, и в своей структуре имеют явные аналогии с этими последними.

Обычно количество таких бинарных соединений для отдельного элемента незначительно, часто в природе встречается только одно (например, для азота – аммиак). Для углерода известны десятки таких соединений, для кислорода – два (вода и перекись водорода).

Отдельные минералы группы определяются, однако, не только различием химического состава бинарных соединений. То же значение имеет и физическое их состояние, так, например, для воды необходимо рассматривать как отдельные минералы разные фазы – льды, водяные пары и жидкие воды. То же самое мы наблюдаем и в других группах.

Другим признаком выделения минералов группы является способность входящих в нее тел давать *растворы*. Очевидно с минералогической точки зрения разные растворы – воды и углеводов – должны быть, рассматриваемы как отдельные минералы.

Поэтому количество отдельных минералов группы – например для кислорода – может быть очень велико, доходя до 1500, и при малом разнообразии входящих в нее бинарных водородных соединений.

В растворах могут наблюдаться химические тела самого различного строения. Очень многие из них в земной коре только и существуют в форме водных и углеводородных растворов и не будут нами рассматриваться в отвечающих им – по принципам принятой классификации – химических группах, как не существующие в земной коре в свободном состоянии.

Так, в тесной смеси с углеводородными телами находятся всегда в природе азотистые и сернистые углеродные производные, которые будут нами вместе с ними отмечены. Может быть сюда же должны быть отнесены примеси кислородных и фосфористых производных углеводов, в чистом виде неизвестные.

5. Но значение этой группы тел определяется не большим или малым числом минералов, к ней относящихся, а теми огромными массами вещества, в которых они собираются, или их химической активностью.

Вода, образующая сплошь одну из земных геосфер – гидросферу, определяет всю химию земной коры в доступной нашему непосредственному изучению ее области. Химические реакции идут, главным образом, в водных растворах, жидких или парообразных, и свойства растворов обуславливают, в главной мере, генезис вадозных и фреатических минералов. Они же определяют среду жизни. Количество воды в земной коре исчисляется многими процентами – больше 12–15 веса последней в пределах 16 км.

Значение в химии земной коры некоторых других водородных минералов, не дающих таких скоплений вещества, не менее значительно. Углеводороды, аммиак, сероводород, перекись водорода – последние три быстро разрушающиеся и столь же быстро постоянно возобновляющиеся дают начало огромному числу минералов фреатических и вадозных и определяют химию всех металлов, соединений серы, азота, углерода и т.п.

Углеводороды, вода и сероводород имеют не меньшее значение в химии ювенильных и глубоких фреатических минералов. Но здесь, по-видимому, выступают новые водородные тела, из которых для нас пока ясно лишь значение HCl и HF. Их значение уже ясно в химии всех металлов и по-видимому (HF) в химии кремния.

Я остановлюсь в дальнейшем на истории наиболее важных тел этого отдела и лишь вкратце укажу на явления, связанные с более редкими относящимися сюда минералами.

6. В отделе водородистых минералов можно выделить подотделы на основании химического состава. Это будут:

- I. *Соединения водорода с кислородом.*
 1. Группа природной воды.
 2. Перекись водорода.
- II. *Соединения водорода с азотом.*
 3. Аммиак.
- III. *Соединения водорода с серой.*
 4. Группа сероводорода.
- IV. *Соединения водорода с углеродом.*
 5. Группа природных углеводородов.
- V. *Соединения водорода с галоидами.*
 6. Хлористый водород.
 7. Фтористый водород.
 8. Йодистый водород?
- VI. *Соединения водорода с фосфором.*
 9. Фосфористый водород.

Возможно, что, кроме этих 9 подотделов водородистых природных тел, находятся в земной коре изредка, как быстро исчезающие, редкие тела, наблюдающиеся в ничтожных количествах, иногда в немногих местах Земли, другие соединения, например, водородистые соединения мышьяка или селена.

Характерно, что в природных водородистых минералах, нам известных, находятся только легкие элементы. Самый тяжелый хлор, атомный вес 35,457.

Я остановлюсь главным образом на четырех первых типах.

Наибольшее значение среди них и среди всех природных тел имеет несомненно группа природной воды.

2. Бинарные соединения водорода и кислорода. Природная вода

1. Значение воды в строении Земли

Особое положение воды в истории Земли

7. Вода стоит особняком в истории нашей планеты. Нет природного тела, которое могло бы сравниться с ней по влиянию на ход основных, самых грандиозных, геологических процессов. Нет земного вещества – минерала, горной породы, живого тела, которое бы ее не заключало. Все земное вещество – под влиянием свойственных воде частичных сил, ее парообразного состояния, ее вездесущности в верхней части планеты – ею проникнуто и охвачено.

Не только земная поверхность, но и глубокие – в масштабе биосферы – части планеты определяются, в самых существенных своих проявлениях, ее существованием и ее свойствами.

Не меньше, если не больше, ее исключительная роль в явлениях жизни. Не меньше $\frac{2}{3}$ по весу всего живого вещества планеты, всех организмов состоит из жидкой воды, не резко измененной в своих свойствах; для многих – водных – организмов она составляет больше 99,5% по весу, никогда не спускаясь – для сухопутных – ниже 60–65%. Как правильно говорил Р. Дюбуа (1890), жизнь есть «одушевленная вода» – «eau animée».

Природная вода охватывает и создает всю жизнь человека. Едва ли есть какое-нибудь другое природное тело, которое бы до такой степени определяло его общественный уклад, быт, существование. Это связано с ее исключительными массой и подвижностью ее молекул.

8. Мы живем в биосфере – вводной оболочке (§44). Вода в ней по массе составляет несколько процентов, и хотя ее количество уменьшается с глубиной, все же порядок процентного содержания ее сохраняется на несколько десятков километров в глубь от земной поверхности.

Но одного весового преобладания недостаточно для того, чтобы подойти к охвату ее значения. Кварц, многие силикаты и алюмосиликаты – полевые шпаты в частности – распространены в не меньших, может быть в больших, массах.

Вода отличается – при большой массе – исключительной подвижностью. Это одно из немногих тел, чуть ли не единственное, которое может находиться на Земле во всех трех физических состояниях – в твердом, жидком и газообразном в биосфере, в жидком и газообразном – в стратиффере и в метаморфической оболочке, в газообразном – глубже. Распространение газообразного состояния воды во всех оболочках уже одно придает ее молекулам чрезвычайную подвижность и связывает в единое целое все нахождения воды.

В земной коре, в толще почти на протяжении 25 км мощностью (Мейнардус, 1928) идут передвижения водяных масс – интенсивно и непрерывно – в бесчисленных круговоротах частью под влиянием молекулярного движения ее газовых молекул, регулируемого изменениями температуры, частью под влиянием тяжести. Масса воды по крайней мере в $3,8 \times 10^{20}$ г находится в вечном непрерывном, неохватимом воображением, но поддающемся учету научной мысли, разнообразном движении.

Подвижность водных молекул достигает максимума – создает поля свободной энергии – всюду на границе воды с чуждыми ей химически или физически телами или на границе разных физических состояний самой воды. Здесь создаются динамические равновесия, структуры: твердые тела \rightleftharpoons воды, газы \rightleftharpoons воды, живые тела \rightleftharpoons воды, фазы воды между собою, – которые определяют всю историю природных вод.

9. Вода определяет и создает всю биосферу, – она создает основные черты *механизма земной коры*, вплоть до магматической оболочки по крайней мере.

Ею вызывается – и отчасти ею создается – *электрическое поле* планеты, ее атмосферы. В огромных вольтажах, нигде и никогда на Земле не превосходимых, развиваемых грозами, десятки тысяч которых непрерывно в каждый

момент находятся в действии, проявляется лишь одно из многих электрических ее созданий. Правильное понимание ее значения в этой области еще впереди, но и сейчас ясно, что современная научная мысль не в состоянии еще выразить его во всем его размахе.

Свойства воды охватывают всю тропосферу. Они создают *климат* и основным образом определяют *термодинамику атмосферы*. Свойствами ее паров определяется *пояс холода*, охватывающий всю планету на границе между тропосферой и стратосферой. Температура достигает здесь для нашей планеты минимума, спускается ниже $-98\text{ }^{\circ}\text{C}$ на экваторе.

Вся жидкая составная часть вещества планеты представляет единое целое, неразрывно связанное в своем поражающем нас разнообразии. В нем чрезвычайно преобладает вода по весу, и мы жидкую массу планеты – природные водные растворы – должны рассматривать как одно неразрывное, единое тело, обволакивающее планету, проникающее непосредственно доступную нам верхнюю ее часть. Свойства этого единого тела – природных растворов – резко иные на поверхности – в биосфере, на границе с газом – с тропосферой, и в подземных скоплениях в стратосфере и в литосфере, вообще на границе с твердыми телами. Под влиянием свойственных воде могучих частичных сил подземные природные растворы принимают особое строение, ни для одного земного тела в таком масштабе не повторяющееся, закономерное расслаиваются, оставаясь единым жидким телом.

10. Стихийно, на границе воды с газами и с твердыми телами, развиваются характерные для воды с нею связанные проявления энергии, самые могучие из создаваемых веществом на нашей планете.

С газами единая масса жидкой воды образует единое для всей планеты динамическое равновесие:

природные газы \rightleftharpoons природные воды.

Газы растворяются в воде, – вода испаряется в газовую земную оболочку. На границе газа и воды создается и вечно идет непрерывный закономерный выражаемый ток молекул. По обе стороны границы – этой *неоднородной среды* – создаются молекулярными силами газа и воды две однородные подвижные системы – газовый водный раствор и проникнутая водными парами атмосфера.

Газами проникнута вся доступная непосредственному изучению часть земной коры, и везде, где встречается газ и природный водный раствор, образуются те же по форме две однородные подвижные системы, находящиеся во взаимодействии. Лишь мысленно можно разделить при нашем изучении природную воду и природные газы. Они всегда проникают друг друга и взаимно определяют все свойственные им явления.

В окружающей природе мы нигде не имеем газа, не связанного с водой, водного раствора, не заключающего газа.

11. Так же стихийно и неотвратно под влиянием молекулярных сил воды и твердого тела устанавливаются при их соприкосновении новые, особые, более сложные, чем равновесие:

природный газ \rightleftharpoons природная вода,

разнообразные равновесия иного порядка:

природная вода \rightleftharpoons твердые тела Земли.

Их разнообразие, их независимость друг от друга обуславливаются свойствами твердого состояния материи.

Все газы Земли взаимно смешиваются и могут быть рассматриваемы как единое целое. Тела твердые друг от друга резко отграничены.

Равновесия:

природные воды \rightleftharpoons природные твердые тела

могут, однако, быть охвачены в основных чертах своего строения немногими широкими положениями.

Первым положением является эмпирически установленное обобщение, что площадь соприкосновения между жидкой или парообразной водой и соприкасающимся с ней твердым телом будет *максимальной*. Только при этом условии будет достигнуто устойчивое равновесие.

Соприкосновение идет до конца; все твердое тело покрывается пленкой воды (природного раствора), толщина которой в *пределе* равна размерам одной молекулы воды и обычно не превышает или едва превышает эти размеры.

Эта *молекулярная пленчатая вода*, с огромной силой удерживаемая твердым веществом, называется иногда (А. Лебедев) гигроскопической. В биосфере и в стратисфере теоретически одномолекулярный слой воды охватывает все твердое вещество, все его песчинки, проникает все его поры.

Миллионы тонн воды, находящиеся в таком состоянии, удерживаются неподвижно и незримо твердым веществом. Неясно, являются ли они химически чистой водой или среди молекул воды удерживаются компоненты водного раствора. Их существование определяется прежде всего свойствами твердого тела.

Пленчатая вода может отрываться от твердого тела только испарением – при какой температуре, мы не знаем – но эта температура равна сотням градусов. Для кварцевого песка – до 500°. Свойства жидкого тела она потеряла, но свойств твердого и газообразного не приобрела. Возможно, как мы увидим, что это твердая фаза воды особый «горячий» лед, устойчивый при высоких давлениях, здесь проявляющихся, в десятки тысяч атмосфер. Явление не изучено.

12. Другим положением, определяющим равновесие:

твердое тело \rightleftharpoons природная вода,

является тоже прочное эмпирическое обобщение, указывающее, что в получаемом равновесии принимают равное участие свойства жидкой воды – ее поверхностное натяжение и ее глубоко лежащие молекулы.

Одновременно с молекулярно-пленчатой водой проявляются измененные при таком соприкосновении две другие фазы и равновесия *волосно-пленчатые воды и ее капельно-жидкие массы* (гравитационная вода А. Лебедева).

Эти формы воды не соприкасаются непосредственно с твердым телом, – они отделены от него неподвижной молекулярной водной пленкой. У всех у них разная упругость пара: иначе они относятся к равновесию вода \rightleftharpoons газ.

В рыхлых и пористых скоплениях твердых тел, т.е. как раз в тех формах, которые отвечают земным горным породам и которые почти сплошь строят биосферу и стратисферу, обе эти формы воды существуют и неразрывно между собою связаны.

Волосно-пленчатые воды обусловлены поверхностным натяжением, т.е. волосными свойствами воды. В их структуре огромную недостаточно учтенную роль играют заключенные в воде газы. Они удерживаются твердым телом; они лишь при большом усилии и с трудом из него извлекаются. Они по весу составляют в рыхлых породах очень заметную часть, исчисляются процентами. Их движение не зависит от силы тяжести в такой степени, в какой зависит обычная, нам хорошо известная, капельножидкая вода; тяготение не влияет на скорость их движения. Они замерзают (в почвах, по Буюкос, 1917) при -78° . Упругость их пара иная, чем для обычной жидкой воды.

Чем дальше от соприкосновения с твердым телом, тем в массе воды уменьшается значение молекулярно-пленчатой и волосно-пленчатой вод. В водоемах на земной поверхности волосно-пленчатая вода проявляется только на поверхности водных масс. В подземных водах все эти формы воды проявляются с большой яркостью.

Таким образом, мы имеем равновесия, различные для наземных и для подземных вод при их соприкосновении с твердыми телами земли.

Для наземных вод можно в подавляющей массе случаев ограничиться равновесием:

твердое тело \rightleftharpoons капельножидкая вода.

Для подземных – неизбежно принимать во внимание более полную и сложную форму:

$$\begin{array}{ccc}
 \text{твердое тело} & \rightarrow & \text{молекулярная} \\
 & & \text{пленчатая вода} \\
 & \downarrow \uparrow & \downarrow \uparrow \\
 & \text{волосная} & \\
 \text{пленчатая вода} & \rightleftharpoons & \text{капельножидкая вода.}
 \end{array}$$

13. Изменение и твердого тела и воды при соприкосновении идет глубже. Неизбежно и вода и твердое тело резко меняются. Стихийно действуют при их соприкосновении химические, электрические силы, им свойственные.

Вода превращается в *водный раствор*. Часть атомов и молекул твердого тела в нее переходит. Молекулы тела и воды частью раскалываются. Эти осколки молекул электрически заряжены. В течение геологического времени едва ли есть твердые тела земли, которые бы в условиях соприкосновения с водными растворами – при непрерывных изменениях внешних условий среды – не вошли бы – хотя бы частью – в водный раствор. В природе – в геологическое время – нет нерастворимых тел.

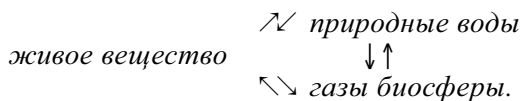
Одновременно меняется *твердое* тело. Два процесса должны быть различены здесь. Во-первых, в него могут химически вступать молекулы воды, – идет процесс *гидратации*. Едва ли случайно, что обладающие этим свойством минералы сконцентрированы в биосфере и в стратисфере.

С другой стороны, идет процесс дробления твердого вещества физико-химическими частичными силами воды (водного раствора) без разрушения его молекул, при участии гидратации. В тончайшем раздроблении твердого вещества образуются *коллоидные системы*, в которых проявляются поверхностные – волосные – свойства твердого вещества – кристалла, – те, которые вызывают создание молекулярно-пленчатой воды, – но здесь они захва-

тывают почти всю массу твердого вещества благодаря его раздроблению. Размеры частиц раздробления подходят к размеру молекул. Водный раствор и коллоидный водный раствор дают переходы. С другой стороны, коллоидные сгустки и студни дают переходы в продукты гидратации.

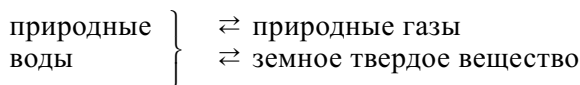
Коллоидные системы охватывают области, где преобладают водные массы – осадки дна водных бассейнов, почву суши, – образуя ими обогащенную, облекающую всю планету, земную оболочку. В тонком ее слое сосредоточены колоссальные скопления свободной энергии, проявления химических и частных свойств вещества и прежде всего воды.

14. К системам «природные водные растворы \rightleftharpoons газы» и «природные водные растворы \rightleftharpoons твердая земная материя», влияющим как на всю газовую оболочку планеты, так и на литосферу, – в пределах промежуточной оболочки – *биосферы* – присоединяется не менее прочное и неразделимое динамическое равновесие, образующее механизм первостепенной важности во всей ее структуре, – равновесие:



Между ними идет непрерывный вещественный и энергетический обмен.

Живое вещество – в пределах биосферы – глубочайшим образом меняет – путем вызываемой им благодаря космической энергии Солнца биогенной миграции атомов – оба основных равновесия природных вод:



и через них далеко в глубь и вверх, в безжизненные области планеты, передает космическую солнечную энергию, меняющую земные молекулярные и атомные системы.

То же равновесие природных вод с живым веществом создает тот красочный ландшафт, рельеф суши и дна водоемов, режим природных вод и живой природы – всю внешнюю оболочку области нашей жизни.

15. Силами Солнца и земного тяготения приводимые в движение капельножидкие, реже твердые, массы воды в метеорных осадках, в речных и в пластовых водах, в ледяных толщах являются основным механизмом обмена вещества суши и океана.

Вода резче, чем какое-либо другое тело, выявляет ярко разнородную структуру верхней части нашей планеты – ее диссимметрию (§ 74).

Диссимметрия резко сказывается в скоплении суши в одном полушарии и водной массы в другом.

В *океане* – в гидросфере – в жидком виде собирается бóльшая часть всей воды земной коры, образуя на поверхности планеты огромное скопление однородной, в основной части, массы вещества, ни для какого другого земного соединения в такой степени в ней не повторяемое.

Извечное в порядке геологического времени *существование этого скопления и его перемещения* в том же порядке времени – *основной факт строения* поверхности планеты.

Явления размывания – *денудация* – и явления переноса и отложения – *седиментация*, связанные с движением и с химическими воздействиями вадозной воды, с геологическими передвижениями океана, создают осадочные породы – *стратисферу*, подстилающую сушу и прибрежные океанические участки коры – «моря».

16. Созданием стратисферы на сушу геологически непрерывно переносятся огромные массы вещества гидросферы – ее измененной *донной и грязевой морской воды*.

Вся стратисфера благодаря волосным силам природных водных растворов проникнута водою. Эта *волосная вода* идет глубже. Частью она сохраняется в породах в момент их образования, происходя из воды, находившейся в среде, где образуются породы. Частью она поступает в них позже, концентрируясь молекулярными притяжениями. Эта *волосная вода* играет огромную роль в движениях и в составе подземных вод, и ее последствия непрерывно проявляются ближе к земной поверхности – в биосфере и в нижележащих областях. По весу эта волосная вода горных пород стоит на втором месте после, воды океанической.

Не меньшее значение имеют воды почвенных и подпочвенных покровов суши и грязей морского дна.

Поверхностная и волосная вода играет огромную роль в вулканических извержениях, может быть, более активную, чем это думают, и в связи с тектоническими перемещениями участков земной коры она создает в ее глубинах явления метаморфизма и могущественно влияет на химические процессы застывания магм и образования *массивных пород*.

17. *Суша и море* вечно – медленными процессами в ходе геологического времени – перемещаются в определенной своей части на лике планеты, поднимаются и опускаются, вечно колеблются, и этим путем становятся подвижными все воздействия природной воды – электрические и термодинамические поля планеты, системы «газ – вода», «вода – твердое тело», «живое вещество – вода», денудация и седиментация, моря и льды, волосные, почвенные и подпочвенные воды.

Но влияние воды идет глубже. Горячий *водяной пар* в областях метаморфической и магматической оболочек земной коры на небольшой, в немногих километрах от ее поверхности и от нашего местообитания, глубине является не только могучим деятелем метаморфизма; его силой поднимаются в значительной мере, а может быть, главным образом – к земной поверхности проникнутые им массы воды и расплавленных магм – массивные и вулканические породы, минеральные источники, подземные взрывы диатрем.

Еще глубже в магмах, в силикатовых и алюмосиликатовых расплавленных массах, вода в своеобразном растворе при наличии огромных давлений – в тысячи атмосфер – и температур, может быть, превышающих тысячу градусов, является основным химическим фактором, действуя как *сильная кислота*, который создает химическую среду магмы и ее движение. Слабым отражением этих, идущих внутри земной коры процессов являются находящиеся на земной поверхности *вулканы*, а их мощность можно видеть в тех *массивных породах* – в частности кислых и основных, – которые строят на каждом шагу окружающую нас материальную среду планеты.

18. Особое положение молекул воды, которое этим путем так ярко сказывается в механизме планеты, не является случайным.

Два обстоятельства – свойства входящих в состав воды двух родов атомов кислорода и водорода – вызывают его.

Эти атомы определяют физико-химические свойства воды и ее действующие в земной коре массы – эти основные условия ее значения в механизме земной коры.

Свойства физико-химические молекул воды совершенно исключительны среди всех сотен тысяч известных нам химических соединений. Едва ли может быть сомнение, что такое положение воды обусловлено строением ее атомов и прежде всего *водорода*. Окись водорода, каковой химически является вода, представляет по процентному составу атомов одно из наиболее богатых водородными атомами тел природы; две трети ее атомов состоят из водорода. Атомы водорода стоят – по своему строению – особняком среди всех остальных атомов, строящих вселенную. Их свойствами очевидно обусловлено и то особое положение, какое в системе химических тел занимают все соединения с преобладанием атомов водорода – такие, как вода, аммиак, метан.

Водород – единственный химический элемент, теснейшим образом связанный с протоном общим ядром атомов всех химических элементов. Эта связь не охвачена сейчас точным представлением. Но она есть. Положение атомов водорода в космосе особое.

19. Свойства другого атомного компонента воды – кислорода – определяют другим путем особое положение воды на нашей планете. Из всех химических элементов атомы кислорода преобладают в составе земной коры, составляя более 53,8% количества ее атомов. Больше того, в литосфере и в силикатовых породах (в силикатах и в алюмосиликатах), в среднем составе земной коры, поля атомов кислорода оттесняют другие элементы, составляют более 98% объема планеты (Гольдшмидт, 1928). Преобладание кислорода определяет то значение, какое имеют в минеральном царстве богатые им водородные соединения, т.е. природные воды.

Она дает большие массы земного вещества, тогда как еще более богатые водородными атомами природные тела – аммиак и метан – отходят на нашей земле на второй план. В то самое время как кислород составляет 53,8% атомов земной коры, водород – 17,2%, азот не составляет и $5 \cdot 10^{-2}\%$ их количества, а углерод близок к $5 \cdot 10^{-1}\%$.

Таким образом, особые свойства атомов водорода и распространенность в земной коре атомов кислорода обуславливают совершенно исключительное значение природной воды в бытии нашей планеты.

20. Свойствами этих элементов определяются физические и химические явления воды – первым делом совершенно исключительное распределение точек перехода воды из одного физического состояния в другое в термодинамическом поле планеты (§ 39).

Вода является чуть ли не единственным телом, точки кипения и плавления которого обе попадают в условия, существующие в верхних частях земной коры, в пределы, едва выходящие за пределы стратисферы.

Непрерывно – как в поле биосферы, так и в поле земной коры вообще – вода меняет свое физическое состояние – пар, жидкая вода, лед. Все время ею

создаются и разрушаются этим путем грандиозные и разнообразные динамические новые подвижные равновесия.

Лед и снег, скопляясь в биосфере, являются одним из самых могущественных факторов ее структуры; своим движением и влиянием на жизнь и на гидрографию суши они коренным образом меняют ее вещество.

Пары воды еще глубже сказываются на лике планеты.

Переходы воды из одного состояния в другое – генетические взаимоотношения между этими минеральными видами воды, непрерывно идущие и непрерывно обратимые, являются основной чертой истории природных вод.

Отвечающие им процессы характеризуют историю земли как планеты.

Благодаря вымораживанию и испарению воды, постоянно совершающимся, все основные равновесия природных вод – «вода \rightleftharpoons твердые тела», «вода \rightleftharpoons газы», «вода \rightleftharpoons живое вещество» – непрерывно меняются.

Но больше того, благодаря тому, что пары воды являются газом, проникающим всю газовую оболочку планеты и всю земную кору в целом, свойства газообразного состояния материи строят всю историю природных вод и сказываются на ее твердых и жидких проявлениях в такой степени, как это никогда не наблюдается для других земных тел.

21. Подобно природным газам и проникающему биосферу живому веществу вся природная вода представляет из себя поэтому тесно связанное, неразделимое *единое целое*.

Всякое изменение, где-либо происходящее в природной воде, неизбежно отражается – хотя бы незначительным образом – во всей ее массе.

Едва ли есть какая-нибудь вполне уединенная от остальной масса природной воды.

Это придает и всей ее химии и ее значению в процессах земной коры особый отпечаток.

Через водяной пар жидкие массы океана и твердые скопления снегов и льдов теснейшим образом связываются с газовой атмосферой и придатком последней, по выражению Дюма и Буссенго (1844), – живым веществом.

Любое проявление природной воды – глетчерный лед, безмерный океан, река, почвенный раствор, гейзер, минеральный источник – составляют единое целое, прямо или косвенно, но глубоко связаны между собой, с земной атмосферой и с живым веществом.

Природная вода в минералогии

22. Такое особое положение природных вод чрезвычайно отразилось на характере и на истории их изучения.

Их изучение вошло издавна в геологию, в биологические науки и вылилось в многочисленных самостоятельных дисциплинах, связанных с теми проявлениями свойств природной воды, которые необходимы для человека. За последние два столетия создались новые научные дисциплины, число которых все увеличивается. Это, с одной стороны, – независимые по сути от жизни и потребностей человека, но ими вызванные, с другой стороны, науки, чисто прикладные, но в основной своей части связанные с природной водой – гидравлика, гидрология, гидрохимия, бальнеология, гидротехника, океанография, лимнология, гляциология, климатология, метеорология и т.д.

Биологи, геологи, географы, техники углубились в изучение природной воды. Одновременно исторический ход развития минералогии, проникновение ее статическими идеями системы природы Линнея создали то, что природная вода едва-едва и то в узких пределах привлекала к себе внимание минералога.

Еще один признак ее исторического хода способствовал этому. Подобно животным и растительным объектам и в отличие от огромного числа минералов, проявления воды на поверхности нашей планеты подчинены географическому охвату. Они зависят от географического места на этой поверхности – от положения планеты по отношению к солнцу.

Мы увидим, правда (§ 339 и сл.), что эта зависимость от географических координат иная, более глубокая, чем это обычно имеет место в географических явлениях. Но все же зависимость выражена ярко.

23. Мысль минералога привыкла останавливаться перед природной водой как перед чуждым ему объектом.

И вследствие этого важные стороны естественной истории природной воды остаются без рассмотрения – исчезают из научного кругозора.

А между тем по существу одна из вновь созданных дисциплин – *гидрохимия*, не в реальной, а в теоретической ее форме, – есть дисциплина чисто минералогическая, ибо гидрохимия занимается *химией природных*, т.е. земных, вод. Минералогию же можно рассматривать как *химию природных молекул и кристаллов*, в отличие от связанной с ней дисциплины геохимии – химии земных атомов.

Химия природных молекул воды в чрезвычайном разнообразии их комбинаций и есть гидрохимия.

Минералогия природной воды помимо гидрохимии должна охватить физические и геологические явления природных вод, в частности морфологию вод, главным образом твердых ее фаз, историю льда.

24. Вода в конце концов исчезла из научного кругозора минералога. Едва ли предлагаемая здесь попытка истории природной воды как *минерала* имеет предшественников.

Она чуть ли не впервые пытается поставить эту группу естественных тел в кругу наших знаний на соответствующее ей место.

При таком новом подходе, используя научный фактический материал, при сборе которого отсутствовала минералогическая мысль, неизбежна неполнота картины, получаемой из такого изучения. Ибо оказываются неизученными проявления природной воды, важные для минералогии, но не останавливавшие внимания исследователей, чуждых минералогии. Так, например, на каждом шагу мы встречаемся с отсутствием химического анализа форм природных вод очень обычных, важных для познания химии планеты, но не имеющих практического значения или не интересовавших биолога и геолога.

Неизбежно приходится только ставить новые проблемы для научного изучения, без возможности их сейчас же решить.

Это неизбежно при всяком новом подходе к природным явлениям. Выясняются пропуски и неполнота нашего знания.

Уже одно это должно служить оправданием моего опыта – изучения природной воды с минералогической точки зрения.

25. Но помимо этого, изучение воды как минерала неизбежно при том изменении самой минералогии, которое сейчас происходит. Изучая историю минералов, а не систему минералов, нельзя стать на другую точку зрения.

В истории всех или почти всех минералов мы сталкиваемся с водой; нередко она и в этих частных проблемах играет совершенно исключительную определяющую роль. Если мы исключим из рассмотрения в истории минералов в земной коре природную воду, мы потеряем возможность научно обнять историю почти всех земных минералов.

Правда, такое значение природной воды выделяет ее из круга остальных минералов; но отсюда отнюдь нельзя заключать о том, что она не принадлежит к числу минералов.

Вода занимает такое исключительное положение, как это еще раз не так давно определенно подчеркнул Л. Гендерсон (1914), не только в земной химии, но и в химии вообще. Ее физические и химические свойства, особенно в их числовом количественном проявлении, ставят ее совершенно и резко особняком в системе всех нам известных сотен тысяч искусственных химических соединений. Однако мы из-за этого не будем выделять ее из этой системы.

Природная вода в ходе времени

26. Существует ряд космогонических представлений, еще живых, имеющих сторонников, о таком прошлом Земли, когда воды на ней не было, и о таком ее будущем, когда воды на ней не будет.

Все эти представления могут быть оставлены без рассмотрения, поскольку мы остаемся на почве *геологических периодов* истории земли, т.е. тех периодов, для которых мы можем основываться на точных научных наблюдениях.

Для геологических периодов мы должны основываться на неизменности того термодинамического поля, какое мы наблюдаем в биосфере, на поверхности планеты, – неизменности средней температуры и среднего давления в ходе геологического времени, по крайней мере от середины архейской эры до наших дней.

В течение всего этого времени мы видим неизменно тот же цикл передвижения молекул воды, какой мы наблюдаем и ныне. В древних архейских отложениях, может быть за исключением лаврентьевской системы, мы находим несомненные доказательства существования тех же процессов выветривания, т.е. химии воды в биосфере, которые идут в ней и по сей час. Передвижения морей и океанов, изучаемые в геологии, нигде не указывают нам на какие бы то ни было изменения веса водных масс. Даже если допустить гипотезу, иногда выдвигаемую, что был когда-то период земной истории, когда весь земной шар был покрыт морем, – это могло быть не связано с увеличением количества морской воды, но являться результатом иного ее распределения.

Уже из этих данных *a priori* можно было бы заключить, что и состав вод должен в общем быть неизменен в течение сотен миллионов лет геологического времени. К этому приводит и критический анализ постоянно высказываемых противоположных соображений.

С самых древних геологических отложений, с архейской эры, не только в общем состав и формы нахождения воды должны были быть аналогичны сов-

ременным, но и ее количество должно было быть тем же или близким. Иначе это сказалось бы в тех многочисленных минералах, которые с ней связаны в своем образовании. Но эти минералы *все те же в свойствах*, в количественном соотношении и в парагенезисе на протяжении всей геологической истории. Сохранение неизменным в геологическом времени парагенезиса, т.е. минеральных ассоциаций, образующихся при участии воды, доказывает с большой точностью неизменность количества воды в биосфере в течение этого времени.

Говоря о неизменности, надо помнить, что речь идет о динамическом равновесии: возможны колебания в ту и другую сторону, но средняя величина остается неизменной, конечно в пределах современной точности научной работы.

Очевидно, в течение всего геологического времени оставалось неизменным и исключительное значение воды в истории нашей планеты. Таково оно было в течение тех 1,5–2,5 млрд лет, которыми исчисляется геологическое время.

27. Правда, огромное значение воды можно утверждать лишь по отношению к наружной части планеты – к земной коре.

Оно едва ли верно по отношению к свободной газовой оболочке за пределами стратосферы. Никаких точных данных мы не имеем также и для более глубоких частей планеты – для области «сима» и земного ядра.

Однако ни свободная атмосфера, ни земные глубины за пределами земной коры не отражаются в точно учитываемой форме в процессах образования минералов, нами изучаемых, и не влияют на них.

Вероятно, что здесь – и в высоких и в глубоких областях планеты – вода не достигала никогда того исключительного значения в их механизме, какое она имеет в земной коре.

28. Но в указанных пределах – в *земной коре* – ее роль была неизменно *исключительной в течение почти всего, если не всего, геологического времени*. Это геологический факт первостепенного значения.

Только в пределах этого времени мы стоим на прочной почве фактов. Сходя с нее в область космогонических и геогенических построений, мы встречаемся в последней со всеми возможными представлениями о догеологическом прошлом нашей планеты – как с такими, которые предоставляют воде огромную роль в происходящих процессах, так и с такими, которые для этого времени отрицают само ее существование.

Дальнейшая научная работа несомненно вырешит стоящую перед нами получающую столь противоположные решения проблему.

29. Общая – средняя – устойчивость в течение всего геологического времени истории воды на нашей планете – постоянства среднего состава всех ее семейств и видов, постоянства в среднем ее количества и форм нахождения – отнюдь не противоречит существованию определенных периодических колебаний во всех этих ее проявлениях в течение геологического времени, колебаний, отнюдь не нарушающих основного положения устойчивости.

Наоборот, все указывает с несомненностью на огромное значение таких колебаний и на то, что в разные эпохи геологической истории Земли картина ее бытия менялась и не была тождественна с той, которую мы изучаем в данное время.

Именно в истории природных вод можно проследить такие периодические колебания на протяжении всего геологического времени – от докембрийского, может быть архейского, периода – вплоть до нашего времени. Это – так называемые *ледниковые периоды*, периоды резко отличного от современного проявления в биосфере твердых фаз природных вод.

Эти колебания твердых фаз закономерны и не единственны для природных вод. Таковы же будут, например, периодически меняющиеся в своем характере приконтинентальные моря, существование временами трансгрессионных морей, изменение истории рек в связи с периодически повторяющимися геосинклиналями и т.п.

Геосинклинальные движения сказывались в истории воды не меньше, если не больше, ледниковых периодов. В это время не только создавались особые, быстро разрушающие континенты речные системы, сносящие вещество суши в океаны, но и уходила из морей в неведомом сейчас масштабе морская вода – донная и грязевая морская вода, – создавая осадочные породы и находящуюся в них пластовую и волосную воду (§ 65).

Сейчас эмпирический материал начинает указывать, что все эти связанные с историей воды явления сосредоточиваются в общем ходе геологического времени в периоды усиления геологических процессов и ослабляются в периоды уменьшения их темпа. Таких периодов с кембрия можно отметить немного (§ 67 и сл.).

Поэтому, основываясь на изучении истории воды в данную – психозойскую – геологическую эпоху в истории нашей планеты, необходимо определить, в какой стадии ее периодических изменений мы ее изучаем. Очевидно, например, что сейчас и ледниковые явления и явления, связанные с трансгрессиями моря и с геосинклинальным накоплением осадочных пород, не характерны и не выражены ярко.

К этому я вернусь ниже (§ 68).

Вода в космосе

В пространстве мировом среди метеоритов
Извечно носятся, блуждав, глыбы льда
Порой один из них в бессменности движенья
Скрестя свои пути с орбитой земной
И примем мы потом в плодах земли родной
Частицы влажные исчезнувших миров.

П. Драверт (1921)

30. Факт неизменности исключительного значения воды в механизме земной коры в течение всего геологического времени неизбежно выдвигает перед нами – не только в космогоническом, но и в научном аспекте – проблему воды в космосе, ее значения в химии других, кроме Земли, небесных тел. Мы можем и должны ставить эти вопросы, так как поверхностные части небесных тел – в том числе земная кора – не являются случайными явлениями, и в их проявлениях мы имеем общие повторяющиеся закономерные черты (Вернадский, 1926).

Эта повторяемость выражена и для воды.

Вода наблюдается на поверхности не только одной Земли, но и других планетных тел. Так она указана на Марсе, где по-видимому она встречается

во всех трех фазах – снега, паров и жидкости, и на Венере, где может считаться констатированным ее нахождение в виде туч и облаков земного строения¹. Допустимо ее нахождение и на Юпитере.

Глубокая и тесная связь метеорной воды, присутствие которой вытекает из этих наблюдений, на других планетах – при условии, что и температура их попадает в интервалы, соответствующие земной атмосфере, – позволяет логически точно заключать о нахождении в них той же *самой биосферы*, какую мы наблюдаем на Земле, со всеми теми последствиями, какие можно сделать для истории природных вод.

Можно сейчас думать, что общие черты этой истории, ниже излагаемые, отвечают не земному только, а планетному явлению.

31. Вода, по-видимому, существует и в других космических телах в форме, отличной от известной для планет. Прежде всего необходимо, по-видимому, признать ее нахождение в форме волосной воды в *метеоритах*.

К сожалению безусловной достоверности эти указания не имеют. Анализы для огромного большинства каменных метеоритов дают указания на нахождение в них воды, но ни точного изучения этой воды, ни уверенности в невозможности ее позднейшего происхождения уже в пределах нашей планеты пока нет. Судя по средним числам анализов (0,75% потеря от прокаливания по Меррилю и 0,20% воды по Фаррингтону), содержание воды в метеоритах не отвечает среднему содержанию воды в горных породах земной коры – оно много меньше. Этого и надо ожидать, так как в метеоритах нет минералов, заключающих конституционную воду, – вода вся должна быть волосной. Возможно таким образом, что содержание такой волосной воды одно и то же в земных породах и в метеоритах.

Вопрос требует сейчас тщательного исследования особенно потому, что в метеоритах мы имеем дело, возможно, с телами, чуждыми нашей солнечной системе².

32. Исходя из этих фактов и возможностей и на основе изучения истории воды на Земле в течение геологического времени, возникли космогонические представления, которые связывают нахождение воды в разных планетах, как стадии одного и того же закономерного процесса, идущего во времени.

Они приводят к таким представлениям о прошлом и будущем воды на нашей планете, с которыми ученый должен считаться.

Космогонические представления в общем выходят за пределы этой книги. Однако с ними необходимо считаться, когда они входят – в той или иной своей форме – в столкновение с установленными в минералогии фактами, или когда они открывают в изучаемой области явлений такие проблемы, которые могут быть сейчас же подвергнуты научной проверке. Эти проблемы необходимо иметь в виду при установлении научных фактов.

По отношению к природной воде из области космогонических исканий и представлений надо остановиться на немногих. Таково представление о том,

¹ Новые работы Лио (Lyot, 1930) указывают, что поляризация света от плотной тучи, состоящей из очень тонких капелек воды, совершенно отвечает поляризации света от поверхности Венеры.

² Работы Ф. Панета и его сотрудников (1930–1931) указывают, что время бытия метеоритов не выходит за пределы, допустимые для тел солнечной системы.

что небесные тела, в частности планеты, в своей истории проходят стадии обогащения и потери воды. Исходным явилось наблюдение отсутствия водных паров на Луне.

Очень часто такое состояние земного спутника рассматривают как состояние вторичное: Луна потеряла атмосферу (и воду). Раньше она в этом отношении не отличалась от Земли.

Эти космогонические представления получили дальнейшее развитие и были перенесены на другие небесные тела. Они даже приняли законообразную форму. Стали утверждать, что стадия потери воды есть общая стадия состояния планет по мере хода времени.

Явление медленного непрерывного усыхания думали наблюдать и на нашей планете. Ее безжизненное будущее вследствие усыхания предвидел Э. Кант, а в бедном водою Марсе Лоуэлль видел указания на более древний его возраст по сравнению с Землею.

33. Эти гипотетические представления допускают научную проверку в фактах и в обобщениях земной истории природных вод.

Обращаясь к ней, мы нигде не видим указаний на существование какого-нибудь однозначного процесса – уменьшения или увеличения массы воды на нашей планете.

Как мы увидим в дальнейшем, история воды на нашей планете отвечает определенному явлению иного порядка, чрезвычайно своеобразному и сложному, но прочному механизму, неизменно в общем действующему в течение двух – может быть больше – миллиардов лет. Механизм сводится к определенному числу многообразных круговоротов – циклов разных форм природной воды, и в частности – к *постоянству* ее количества на нашей планете.

В пределах геологического времени механизм этих циклов кажется устойчивым и неизменным.

Все космогонические построения должны считаться с таким механизмом природных вод. Могут иметь научное значение только те из них, которые допускают существование такого механизма и ему не противоречат.

Космогонические построения, приводящие к неуклонному высыханию Земли, или, наоборот, к исчезновению суши – вселенскому океану – «панталасса» (Πανθαλασσα) Зюсса, отпадают или должны быть в этой части переработаны, учитывая, что один и тот же указанный в общем неизменный механизм природных вод может быть прослежен в течение всего геологического времени.

34. Другое явление не должно упускаться по отношению к воде современными космогоническими построениями.

В космогонических гипотезах, могущих иметь научное значение, нельзя забывать особого положения воды, т.е. особого космического значения водорода и кислорода, – не только в области геологических явлений. Необходимо всегда учитывать то особое положение, какое вода имеет по своим физическим и химическим свойствам среди всех тел химии, т.е. в космосе. При выясняющейся для нас все больше и ярче картине космоса, как проявления основных и общих свойств атомов, т.е. химических элементов, надо ждать, что особый исключительный характер физико-химических свойств воды среди всех других соединений отражается и на ее положении в мироздании и на структуре мироздания или по крайней мере некоторых его частей.

35. К сожалению, внимание исследований не направлено в эту сторону, и факты, сюда относящиеся, не собраны.

Поэтому приобретают особое значение и одиночные – хотя бы случайные – наблюдения, на это указывающие, и не могут быть оставляемы вполне без внимания космогонические построения, придающие особое значение воде, как бы они ни казались нам фантастичными.

Наш эмпирический материал о значении воды в космосе явно недостаточен и не дает понятия о ее реальном в нем положении. *Картина, только на нем построенная, будет заведомо неверной.*

36. Поэтому мы должны теперь же держать в голове те космогонические представления и учитывать те гипотезы о значении воды, которые допускают научную проверку, позволяют искать факты ее истории, не учитываемые в современном – неполном – представлении о ее земной роли.

Такое значение имеют космогонические представления проф. Ф.Н. Шведова (1881) о происхождении града. Он связывал его с метеоритами и считал значительную часть падающего на землю града осадком *космического* происхождения.

В таком виде гипотеза Ф.Н. Шведова представляется неприемлемой, ибо она не объясняет целого ряда метеорологических явлений, указывающих на теснейшую связь града с механизмом *земной* атмосферы. Для всех градопадений заведомо нельзя говорить об их космическом происхождении.

Но, с другой стороны, несомненно, что сейчас у нас нет сколько-нибудь удовлетворительного научного объяснения происхождения града, как это признают и новейшие сводки метеорологии (например, Оболенский, 1927). Затруднения – пока непреодолимые – представляют как раз те огромные градины и те концентрации града, на которые указывал в свое время Шведов. В то же время форма и строение градин не обращают на себя достаточного внимания.

В результате такого положения дел «из осторожности» целый ряд научных фактов, явно противоречащих господствующим воззрениям, совсем не попадает в лучшие сводки по метеорологии и исчезает таким образом из кругозора научных исследователей (напр. у Ю. фон Ганна и Зюринга, 1926).

Если принять во внимание возможность идей Шведова, это должно помочь собрать факты как раз в той области явлений, на которую не обращают внимания современные теории града; в определении предельной величины градин, их форм, их строения и их включений.

В то же время допустимыми представляются случаи падения метеоритов совместно с градинами или в градинах¹. Научная мысль не останавливается

¹ Существование ледяных метеоритов, если бы оно было доказано, отнюдь не явится каким-нибудь доказательством фантастической космогонии, противоречащей научным фактам, но пользующейся сейчас, наряду с теософскими и философскими представлениями о мироздании, довольно большим успехом в среде образованного общества, главным образом в Германии. Эта космогония была создана в последнее время инж. Гербигером и вызвала целую литературу, имеющую отголоски и в научной работе (проф. Даккэ). Это – так называемое учение о «мировом льде» (Welteislehre), или «гляциальная космогония». Согласно идеям Г. Гербигера и Ф. Фаута (1913 и сл.), вода – главным образом в форме льда – является одним из основных тел мироздания; ее свойствами и ее переходами в другие физические состояния обусловлены самые грандиозные космические явления. В частности, из льда состоят Луна и падающие звезды; огромное скопление ледяных метеоритных потоков находится за пределами Нептуна.

перед этими явлениями. Сейчас нельзя даже ни утверждать существование этих явлений, ни отрицать их: критически материал не проверен. Сколько можно судить, все же нет ни одного указания, не возбуждающего сомнений или вполне ясного с фактической точки зрения¹.

Надо, однако, сейчас допускать, что вопрос о космическом происхождении некоторых (определенных типов) градовых падений не может считаться решенным и требует внимания и проверки. Его решение имеет огромный научный интерес.

37. Нельзя не учитывать и иных космических сторон вопроса.

Во-первых, возможен *обмен* между молекулами воды – земной и космической – и, во-вторых, *обмен* пылевыми тончайшими исходениями планеты и космической пылью.

Это явление приобретает особый интерес в связи с высокой температурой свободной атмосферы за пределами стратосферы.

С другой стороны, космическое вещество, входя в земную атмосферу, может вызывать в ней *синтез воды*. Некоторые метеориты, богатые углистыми веществами, *горят* в нашей атмосфере, т.е. в ней идет при их падении образование H_2O и CO_2 . Возможно, что значительное количество падающих звезд является формой сгорания таких космических тел. Хотя количество такой космической пыли и невелико в короткое – историческое – время, оно, однако, уже не безразлично, взятое в рамках геологического времени.

Природная вода в земной коре

38. Природная вода отвечает большой *группе минералов*, находящихся в нескольких физических состояниях.

В эту группу входит уже сейчас более 480 разных минералов, и должно быть все число ее видов достигнет в конце концов 1000–1500 или близкой цифры.

Эту группу удобно рассматривать как единое целое.

Все сотни сюда относящихся минералов связаны – совершенно реально – между собою, составляя отдельные части одного и того же огромного равновесия водных систем, охватывающего всю верхнюю часть планеты.

Подобно тому как газы земли находятся между собою в реальной связи и составляют единое целое, составляют единое целое и все сотни природных вод. В сущности, это – единое тело, хотя и разъединенное на отдельные части.

Сейчас научно точную картину этого единого равновесия дать невозможно, но необходимо все время учитывать его существование.

Почти пятьсот минералов группы природной воды могут при этом быть учитываемы и изучаемы с не меньшей точностью, с какой могут быть учитываемы и изучаемы, например, изоморфные смеси группы силикатов и алюмосиликатов.

Многочисленные физико-географические и геологические явления (в том числе ледниковые периоды) связываются с учением о мировом льде. Противоречие с огромным количеством научно установленных фактов не мешает ее успеху, что объясняется непривычкой огромных масс населения научно мыслить.

¹ Достоверных случаев автор не знает. Проверка града, выпавшего около Стерлитамака и описанного проф. Эверсманом в 1824 г., произведенная И.С. Астаповичем под руководством автора, приводит к отрицательному результату.

39. Подобно природным газам, природная вода местами собирается в таких количествах, что или сама составляет геосферу или же играет в ней исключительно важную роль. Со значением одной из таких геосфер – гидросферой мирового океана – мы уже не раз встречались.

Это связано прежде всего с массой природной воды, составляющей по весу и по объему *значительную часть всей земной коры*, больше 12% (§ 5, 40).

Составляет ли она столь же важную часть массы всей планеты, неизвестно. Обычно принимается, что количество воды быстро уменьшается к нижней границе земной коры. Нельзя забывать, что это не научный факт или научное обобщение, а гипотетический вывод, который, вполне возможно, не отвечает действительности.

При его допущении приходят к заключению, что в масштабе планеты нет того преобладания воды, которое мы видим на ее поверхности, что вода составляет по весу небольшую часть планеты. Есть исключительное сосредоточение масс воды в земной коре, но не в планете.

Основываясь на ее уменьшении по мере углубления, пытались вычислить весовой процент ее содержания в планете.

Эти вычисления приводят к дробям процента – $3 \cdot 10^{-4}\%$ по П.Н. Чирвинскому (1922), $2 \cdot 10^{-2}\%$ по В. Заломону (1924). Конечно, эти сотые и десятитысячные доли процента в масштабе планеты очень большие числа, но они указывают, что в этом масштабе количество воды в тысячи, может быть в сотни тысяч раз меньше, чем это имеет место в биосфере. По объему вода составляет не менее $1,2 \cdot 10^{-1}\%$ объема земного шара (не считая атмосферы, по В. Заломону)¹.

Эти малые числа требуют очень осторожного к себе отношения. Выражают ли они реальное явление?

При их установлении не принимают во внимание особого строения гравитационного поля планет, в том числе и Земли. В планетах существуют совершенно определенные области, где может существовать вещество в тех физических состояниях, в которых мы только привыкли его и мыслить: в жидком, твердом и газообразном. Эту область планеты можно назвать ее *фазовым полем*. По мере удаления вверх от уровня Океана (поверхности геоида) возможность тончайших жидких и твердых выделений любых молекул, в том числе и воды, все уменьшается; может существовать только разреженный газ. Но на некоторой высоте и разреженный газ – пары воды – теряет свой привычный нам характер: свободный пробег молекул становится так велик, что нельзя говорить о газовом состоянии материи. Здесь его предел, здесь область лучистой материи Фарадея и Крукса. О воде здесь говорить не приходится, – у нас на Земле на сотне, другой километров высоты от уровня геоида. И в то же время нельзя говорить о воде на нижней границе земной коры, на глубине около 60 км от уровня геоида, где господствует огромное давление, превышающее 30 000 атм. При таких давлениях различие между твердым, жидким и газообразным состоянием скоплений молекул стирается – сами молекулы меняются. Получаются пластические, упруго твердые как сталь тела, о которых

¹ П.Н. Чирвинский основывался на данных И.Д. Лукашевича. Количество воды ниже биосферы значительно больше допускаемого И.Д. Лукашевичем ($1/3$ воды океана – ср. § 60), но эта поправка не изменит порядка числа П.Н. Чирвинского.

мы не имеем реального представления. Говорить здесь о воде не приходится, т.е. нет места и для волосного проникновения воды. В этих глубинных областях планеты под влиянием давления господствуют только химически однородные массы: единое однородное тело.

Фазовая область планеты, где есть структуры из молекул воды, не выходит за пределы земной коры и не подымается над ее уровнем в газовую оболочку выше сотни километров.

40. Возвращаясь к точно установленным фактам, можно утверждать, что в *пределах земной коры* роль воды исключительная, и что здесь она является чрезвычайно распространенным телом. В биосфере она преобладает – составляет едва ли меньше 75% по весу. В земной коре до глубины 20 км она не спускается ниже 8% по весу, и едва можно видеть признаки уменьшения ее количества для дальнейших глубоких частей земной коры примерно до 60 км от уровня океана. Она составляет и здесь несколько процентов по весу, едва ли серьезно отличаясь от 8%.

Если океан составляет для 20 верхних километров земной коры больше половины земной воды по весу, то в земной коре в водяных парах и в волосной воде литосферы мы имеем дело с массами воды того же порядка (хотя и с меньшим вероятно коэффициентом), как масса воды океана.

Если концентрация воды в земной коре по сравнению с земным шаром возможна при определенной структуре планеты, ее концентрация в биосфере несомненна. Здесь идет не только увеличение ее количества, но и образование единой огромной массы, почти половины всей воды верхней части земной коры (до 20 км), в форме единого Океана.

41. Наиболее точные данные об истории воды мы имеем для верхней части земной коры, не превышающей (если мы оставим без внимания атмосферу) по объему ее третьей части, для 20 км.

Здесь характерно для воды, что она в разных своих фазах проникает все геосферы этой части коры сплошь, т.е. в каждой из них распространяется более или менее равномерно. Здесь можно говорить как бы о *водных оболочках*, явно или скрыто проникающих верхние геосферы. Ибо распределение воды в каждой из земных оболочек имеет одни и те же характерные черты: оно может быть различно в пределах геосферы в зависимости от географического положения, но вода будет распространена на всем протяжении геосферы. Вода в данной форме своего нахождения во всякой оболочке будет «охватывать весь земной шар». Другими словами, в каждой оболочке вся вода будет являться единым целым, составлять часть характерного ее механизма.

Таких водных оболочек можно различить несколько, как мы сейчас увидим, – по крайней мере *пять* (§ 43). Некоторые из них будут охватывать многие геосферы; другие, как снежная или ледяная, – одну; газообразная – все; но для всех характерно, что они сплошь – на всем протяжении – проникают вещество, материальный механизм геосфер, в которых наблюдаются.

42. Это будут прежде всего отдельные *жидкие, твердые, газообразные водные оболочки*, связанные с разным физическим состоянием воды. Можно отличить в земной коре действительно области, в каждой географической точке которых мы можем – в зависимости от ее положения от уровня океана – найти воду в одном из этих состояний. Беря разные геосферы: биосферу (тропосферу, гидросферу, кору выветривания), стратосферу (и вольную

атмосферу), стратисферу, метаморфическую оболочку, магмосферу (ср. I, § 32, добавл.), можно убедиться, что если данная фаза воды в ней существовать может, она находится в ней всюду.

И не только находится, но определяет самые важные свойства данной геосферы, характеризует ее строение.

43. Эти три формы водных оболочек не дают, однако, полного представления о сложности природного явления, и мы должны выделить еще по крайней мере две особых формы ее нахождения в форме «водных оболочек». Одной является оболочка из *волосной пленчатой воды* (§ 11), в которой в действительности вода является жидкой, но в которой тонкие пленки воды не дают никакого впечатления о воде как о капельножидком теле. Обычно такая вода для нас не видна. Кусок, например, «совершенно сухой» почвы или же кусок какой-нибудь «сухой» твердой породы – мрамора или гранита – отвечает (в предельном случае) части такой невидной глазу волосной оболочки, в действительности проникающей всякое твердое земное тело и могущей в «влажном» состоянии выявить воду в капельножидком состоянии.

Эта вода отвечает главным образом явлениям *поверхностного натяжения жидкостей*, иначе проявляющегося и в ее капельножидких массах.

В том же повсеместном распространении с преобладанием в определенной геосфере вода находится еще в другой форме, которую мы должны отличать от водяных паров, жидкой воды (волосной и капельножидкой) и твердого льда – в форме разреженного газа, состоящего из *электрически заряженных молекулярных комплексов воды*. Это *водяные ионы*, или ионы газов воздуха, захватившие молекулы воды, роль которых огромна в определенных участках механизма земной коры.

44. Остановимся вкратце на этих *пяти типах водных оболочек*, поскольку они характеризуют разные геосферы (земные оболочки).

Наиболее обращала на себя внимание *капельножидкая водная оболочка*, часть которой составляет Всемирный океан, образующий неполную жидкую земную оболочку – *гидросферу*.

В сущности капельножидкая водяная оболочка является характерной для *биосферы*, проникая ее всю.

Гидросфера – Всемирный океан – составляет лишь часть биосферы.

Огромная ее масса, в форме раствора определенного химического состава, покрывает – в средней мощности 3,8 км – почти три четверти поверхности биосферы. Ее глубина достигает в отдельных участках 10,79 км.

В гидросфере сконцентрирована почти половина (§ 5) всей воды земной коры, и ее существование является наиболее характерной чертой ее строения. Образование сплошной массы воды весом $1,6 \cdot 10^{18}$ необъяснимо ни одной из геогенических теорий, но существовало в тех же размерах с среднеархейской эры, а вероятно, геологически искони. Это самая основная черта диссимметрии земной коры (§ 74 и сл.), явление, теснейшим образом связанное с ее историей. Это – масса *холодной воды* (в среднем ниже 4° C), что еще более подчеркивает диссимметрию в истории природных вод.

Постоянно испаряясь в атмосферу – переходя в газообразное состояние – и обогащаясь выпадающими, сгущающимися в жидкость атмосферными осадками, Всемирный океан является главным регулятором паров воды и, тем самым, регулятором жизни на планете и связанных с ее существованием геохимических эффектов – механизма биосферы.

Океан и другим путем – не только через водяные пары – регулирует режим вод суши.

В него непрерывно вливаются и проникают – через реки и через грунтовые и напорные воды биосферы и стратисферы – наземные и подземные водные растворы суши.

Они приносят ему растворимые части, прошедшие через почвенные растворы, определяющие главный состав морского солевого остатка. Другую часть приносят дожди и снега, ветры, разносящие попавшие в атмосферу земную пыль, и выделения вулканов. Но Океан – в своих морях и прибрежных частях – сам является *первоисточником вод стратисферы*. Измененные грязевые и донные воды морей служат первоосновой тех сложных систем равновесий, какими являются:

водные растворы \rightleftharpoons твердые тела

верхних частей суши в форме пластовых вод.

Сотни жидких водных растворов нашей планеты – в той части, которая доступна нашему изучению, – все сосредоточены на суше.

Жидкая водная оболочка в едином равновесии распадается на две части:

морская вода \rightleftharpoons сотни водных растворов суши.

45. Очевидно, таким образом, значение в истории природных вод капельножидкой воды суши – *коры выветривания*.

По Гальбфассу (1913), вся вода суши, учитывая и парообразные и твердые ее фазы и подземные пластовые напорные воды, выходящие за пределы биосферы в стратисферу, составляет только тысячные доли воды океана и не превышает $4 \cdot 10^{21}$ г.

Но значение ее колоссально. Здесь идут основные химические реакции биосферы, процессы гидратации, создаются и распадаются бесчисленные равновесия: вода \rightleftharpoons газ, вода \rightleftharpoons твердое тело.

На суше как самостоятельная форма скопления жидкой воды выявляется живое вещество, главным образом зеленая растительность, масса которой достигает порядка 10^{19} – 10^{20} г, и в ней заключается 80–95% капельножидкой воды.

Наземная вода суши находится в таком интенсивном движении, в таком химическом обмене, перед которым отходит на второй план превышающая ее в тысячи раз масса воды океана, в главной своей части холодная, инертная и малоподвижная.

Вода, температура которой временами на десятки градусов больше температуры морской воды, собирается здесь в реки, озера, озера-моря, болота, лужи. Как это ни кажется парадоксальным с первого взгляда, основной чертой ее механизма является образование временных выделений – луж, связанных с метеорными осадками.

Они играют основную роль в ее движениях и в течение года вероятно превышают по массе всю поверхностную воду суши.

46. Вода суши незаметно и непрерывно связана с равновесиями сложного типа (§ 11):

твердое вещество суши \rightleftharpoons природный водный раствор.

Наряду с гравитационной, т.е. капельножидкой, водой в нем начинает играть видную роль пленчатая вода, и начинает проявляться *волосно- пленчатая водная оболочка*.

Вся суша покрыта – в пределах коры выветривания – *почвой*, и *почвенный*, а также подпочвенный *растворы* являются характерными формами проявления капельножидкой воды, играющей огромную роль в водном механизме планеты, определяющем существование живого вещества, состав ее реки через них солевой состав морской воды.

Глубже в подземных – пластовых – водах капельножидкая вода коры выветривания входит в те же структуры, какие наблюдаются в почвах, но в них она по-прежнему преобладает над пленчато-волосной.

Постепенно, с замиранием жизни, явления выходят за пределы биосферы в следующую геосферу – в стратисферу.

Капельножидкая вода коры выветривания не выходит далеко за глубину одного километра от уровня суши.

47. В биосфере капельножидкие растворы проникают нижнюю атмосферу – тропосферу.

Форма водной оболочки гравитационной воды здесь очень своеобразная. Жидкая вода, собирающаяся в тучах и в туманах, резко отличается от той, к которой мы привыкли и которая составляет моря и океаны и заполняет вместилища суши. В этой воде уже ярко выявляются свойства поверхностного натяжения; это – мельчайшие определенных размеров (§ 61) капли, плавающие в воздухе, – аэрозоли. Разнородность этих скоплений жидкости – ее частичные силы – резко выражается в многочисленных электрических явлениях, здесь проявляющихся, – приводит к созданию электрического поля земли и *водной ионной оболочки* (§ 61 и сл.).

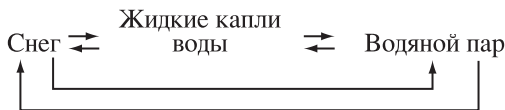
Характерное строение этих мельчайших капель и связанные с ними проявления электрических полей совершенно оправдывают сравнение этих грандиозных структур со структурами коллоидальными, в частности с эмульсиями.

Это явления одного порядка с равновесиями: жидкая вода \rightleftharpoons газ, отвечающими случаю, когда масса газа преобладает над массой жидкого компонента равновесия.

Количество в атмосфере туч и облаков, состоящих из жидких капель, в каждую данную минуту меньше массы ее водяных паров. Самое густое облако, до сих пор изученное, не составляло 0,4% (по весу) объема заключающего его воздуха (Конрад), тогда как в воздухе количество водяных паров в среднем близко к 1%, т.е. к $6 \cdot 10^{19}$ г.

Но значение этой жидкой воды огромно вследствие ее подвижности.

Трудно учесть взаимные соотношения капель воды и пара. Они находятся в подвижном равновесии. Постоянны переходы:



Выпадение жидкой воды из тропосферы на сушу и океан в форме метеорных осадков – дождя и снега (порядка $4,8 \cdot 10^{11}$ г/год) и росы – является основным процессом в механизме биосферы, определяющем в ней жизнь и весь ее водный режим и все процессы выветривания.

48. Жидкая оболочка атмосферы, по-видимому, охватывает всю тропосферу, до ее пределов, до 9–13 км над земной поверхностью.

Хотя температура на границе тропосферы очень разная, для высот 8–10 км колеблется от -19°C до -52°C и ниже (до -98°C), – все же вода в мельчайших каплях может здесь находиться в жидком переохлажденном состоянии¹.

К тому же, эта вода является раствором, и возможна в образовании ее капель роль гигроскопических компонентов, например, CaCl_2 .

По-видимому, мелкие капли воды легко сохраняются в переохлажденном состоянии, и часть даже таких облаков, как перистые (*Cirri* – высота 7–13 км), состоит из жидких капель, а не из твердых снежинок.

В верхних частях стратосферы температура сильно подымается, достигая порядка выше 35° . Там может находиться жидкая вода, но о воде в этих разреженных газах мы ничего не знаем².

49. Как мы видели (§ 44), характер водной оболочки сохраняется для жидкой воды в *стратисфере* ниже пределов биосферы.

Здесь вода является частью того своеобразного механизма, какой представляет из себя равновесие – твердое тело Е природный раствор – и о котором уже несколько раз мне пришлось говорить (§ 11).

Здесь мы вступаем в область твердого вещества, где не только резко меняется привычный нам характер гравитационной воды, но где быстро уменьшается точность нашего знания.

Начинают действовать здесь к тому же два фактора, которые резко отражаются на существовании и на формах нахождения жидкой воды.

За пределами биосферы в земной коре начинается область постепенного увеличения температуры и давления. Температура на суше уже на глубинах порядка 10–15 км достигает точки критического состояния водных растворов, когда жидкая фаза воды как таковая существовать не может.

Давление вызывает резкое изменение твердой среды, которая служит водоместилищем для жидкой воды. Вещество становится пластическим, и пустоты, заполненные хотя бы газами, в нем не удерживаются.

Это вероятно – для алюмосиликатовых и силикатовых твердых масс – должно наблюдаться при относительно высокой температуре на глубинах порядка не ниже шести – восьми километров, т.е. в условиях, когда жидкая пресная вода существовать уже не может.

Таким образом до предела выше 10 км в глубь от земной поверхности (до 13,5?) могут встречаться капельножидкие воды, причем уже на глубинах около 3 км она может находиться только в перегретом состоянии³ по сравнению с химически чистой водой, что вполне возможно благодаря давлению и соленому или рассольному ее составу.

¹ Низкая температура стратосферы создается, по-видимому, прежде всего свойствами водяных паров, которые поглощают наиболее интенсивные тепловые лучи солнца.

² Высокая температура этих слоев связана с озоном, поглощающим наиболее холодные лучеиспускания солнца. Озон связан в своем генезисе с парами воды.

³ Э. Принтц (1923) допускает существование жидкой воды до глубины 18,5 км и при температуре 6000°C . Это вычисление основано на экстраполяции, посылки которой возбуждают сомнения. Не принята во внимание пластичность пород. Вода здесь, вероятно, должна находиться в пленчато-волосном состоянии. (Ср. § 171 и сл.).

50. Высокая температура жидкой воды достигается здесь и обилием поднимающихся к земной поверхности или образовавшихся в этих областях магматических очагов.

Жидкие горячие воды пустот и трещин, воды, проникающие водопроницаемые породы, в среде, переполненной горячим, часто перегретым водяным паром (в подземной атмосфере), являются областью разнообразнейших химических процессов, проявляющихся в явлениях метаморфизма. К сожалению, о характере этих вод – их химическом составе и их свойствах – сведения наши очень смутны.

Отсюда по трещинам, в связи с гидростатическим давлением и давлением растворенных газов, поднимаются в биосферу и в стратисферу *водные струи*, восходящие воды, дающие начало многочисленным минеральным термам, частью не выходящим на земную поверхность.

Переход от глубоких вод стратисферы, где кончается область жидкой воды, к напорным водам биосферы вполне постепенный.

Никакого уменьшения воды в связи с глубиной здесь мы не замечаем.

Таким образом, область жидких водных оболочек захватывает пределы, считая атмосферу не менее 15, может быть 20 км, а в пределах твердой планеты – в среднем 6–8 км, в отдельных точках спускаясь в океане до 10 км.

30 км есть максимальная мощность области ее проявления.

51. Водяной пар – единственная форма проявления воды, которая характерна для всей земной коры.

Водная газовая оболочка существует во всякой геосфере.

Но масса водяного пара в пределах верхних 20 км земной коры, сколько можно судить, меньше *массы* жидкой воды, меньше массы Океана.

В самых нижних частях земной коры – за пределами критической температуры жидкой воды (§ 300) – свойства паров воды должны приближаться к свойствам совершенного газа. Высокое давление этих областей мешает нам конкретно представлять себе эти состояния воды.

Вверх водяные пары проникают в разреженную стратосферу и должно быть в еще более разреженную теплую область – вольную высокую атмосферу. Может быть они могут подыматься из нее в космическое пространство¹? И может быть упасть в нее и из него?

52. Кругом нас они находятся всюду. Водяные пары, с одной стороны, проникают атмосферу, всю биосферу, не считаясь с фазами составляющей ее материи, живое вещество во всем его разнообразии; они проникают почву и морскую грязь, в области снега и льда быстро переходят в снежинки, но существуют в равновесии вместе с ними.

Для биосферы характерно, что водяные пары создаются не только жидкими водными растворами, но льдом и снегом.

Этим путем через ту воздушную атмосферу, которая проникает всю биосферу и в которую попадают пары воды, устанавливается реальная материальная связь между всеми проявлениями воды в области жизни. Каждый водный раствор, ледяные и снежные скопления выделяют и сгущают молекулы водяных паров, они непрерывно идущими движениями газов переносятся с места на место. Водяной пар вечно подвижен, зарождается, сгущается и застывает, он образует в биосфере *единое тело*.

¹ Высокая температура вольной атмосферы должна этому способствовать.

53. Водяной пар из биосферы проникает глубже в стратисферу, и постоянно из последней идет ток водяных паров. По мере приближения к границе биосферы и вхождению в стратисферу этот приток водяных паров, идущих снизу, увеличивается. Температура повышается, испарение водяных растворов увеличивается.

Из стратисферы и, может быть, глубже на земную поверхность выходят горячие водяные нары в минеральных источниках (инертные), в гейзерах (вначале амиачно-сероводородные), в вулканических извержениях – в последних иногда в чистом виде (например, Бандайзан в Японии 15.VII 1888 – кислые с сернистым газом), в сопочных извержениях (инертные).

Проникая всю земную кору, пары воды устанавливают непрерывную и непрерывно действующую материальную связь биосферы с нижними геосферами – со стратисферой, с метаморфической, с магматической оболочками.

Едва ли на земле кроме азота, углеводов и угольной кислоты есть другое минеральное тело такого характера.

Но вода далеко превышает их по массе и по значению в истории планеты. Связующая роль водяных паров в этом отношении исключительная.

54. Эта связующая роль – перемещение водяных паров из одной геосферы в другую – не может быть вполне приравнена к обмену других газов в атмосферах. Она гораздо больше. Другие газы проникают в новые геосферы гораздо медленнее, чем водяные пары; местами связь отсутствует, временами наблюдаются пароксизмы в движении, но в общем – в ходе геологического времени – связь между всеми газами есть реальный и большой фактор в механизме планеты.

Подземные газы – и водяной пар в том числе – образуют *подземные атмосферы*, более резко, вероятно, отделяющиеся друг от друга, чем отделены между собою тропосфера, стратосфера и свободная атмосфера.

Подземные атмосферы в значительной мере являются *водными подземными атмосферами*, – водяной пар в них должен господствовать по весу.

Для CO_2 , O_2 и N_2 мы знаем, что с углублением в земную кору они – особенно первые два – уменьшаются; возможно увеличение с глубиной углеводов (CH_4). Но для H_2O , как это видно из нижеследующих замечаний, нет никаких указаний на уменьшение паров воды с глубиной. Наоборот, их содержание в массе подземной атмосферы увеличивается.

Наиболее глубокая подземная атмосфера, для научного суждения о которой мы имеем данные, по-видимому состоит исключительно из водяных паров с небольшой примесью азота и углеводов.

55. Водяные пары проникают всю *стратисферу*. Они попадают в нее снизу и сверху.

Проникновение снизу имеет особое значение, ибо оно создает пресные воды там, где их иначе не было бы.

Значительная часть стратисферы – ее большая часть – лежит в областях, температура которых не достигает или мало превышает 100° . Это область в среднем до 3–3,5 км глубины от земной поверхности, т.е. примерно до средней глубины гидросферы.

Здесь приходящие снизу – из глубоких частей стратисферы (до 8–10 км?) и из метаморфической оболочки или из среды самой стратисферы – из маг-

матических очагов, остановившихся в стратифере и в ней переходящих в горные породы, – водяные пары сгущаются в жидкость.

Соленые и рассольные растворы дают пресные пары. Это один из основных, как мы увидим, процессов в истории природной воды.

Он аналогичен тому скоплению пресных вод, которое из испарения поверхностных растворов (отчасти почвенных вод) сосредоточивается в форме туч и облаков в тропосфере и в их продукте – в лужах, в реках и в озерах суши.

Пресные воды, сгущающиеся из горячих паров в стратифере (заходящих и в биосферу), дают вторую водную жидкую пресную оболочку планеты, очень мало изученную.

Эти явления – несмотря на всю их грандиозность – очень мало обращают внимания.

Только сейчас перед нами открываются местные огромные скопления перегретых пресных паров, слабо щелочных, которые дают на земной поверхности гейзерные воды с температурой до 140 °С.

Здесь область больших неожиданностей – будущих открытий – в привычной нам сейчас гидрологической схеме.

56. По мере углубления количество водяных паров увеличивается вследствие повышения температуры, увеличивается и их химическое значение, активность.

Пары становятся «менее пресными», богаты кислотами (HCl, HF, H₂S) и дают при сгущении *кислые воды*, быстро дающие соленые растворы при соприкосновении с окружающими породами.

Особенно ярко их значение должно сказываться при приближении к нижней границе жидкого состояния воды. С одной стороны, здесь нет скоплений вод, аналогичных жидким поверхностным и пластовым водам, с другой – волосные воды должны все значительнее осолоняться.

Процессы гидротермальные, которые здесь играют видную роль, и процессы, связанные с пегматитовыми образованиями в магматических застывающих магмах, ярко указывают в доступных нам продуктах их бывшего существования на значение водяного пара.

Но узнать и представить себе конкретный характер водяных паров в этих областях, мы сейчас не можем.

57. Чем глубже мы спускаемся в области, где температура уже быстро – на глубине немногих километров – превышает точку перехода воды в критическое состояние, тем больше мы встречаемся с особыми ее состояниями, нам на поверхности неизвестными. Ее соединения разлагаются. Перегретые пары воды под давлением в тысячи атмосфер, их тесные смеси с расплавленными силикатами при температуре до 1000–1200 °С, при давлении до 10 000 и выше атм. дают магмы; эти формы нахождения здесь господствуют. Они чужды нашим конкретным представлениям о воде.

Казалось бы, что здесь мы достигаем предела существования водяного пара. Он должен был бы глубже переходить в гремучий газ, если бы температура неуклонно повышалась. Но этого по-видимому нет.

Источник нагревания – радиоактивный распад – уменьшается вследствие уменьшения числа радиоактивных атомов в глубинных породах.

Такова по крайней мере та картина, которая сейчас нам представляется наиболее вероятной.

Область расплавленных (вследствие высокой температуры) участков алюмосиликатовых и силикатовых масс – область магм – книзу ограничивается.

Ниже ее температура уменьшается и благодаря давлению около границы земной коры – 60 км – вода, как и другие вещества, находится в состоянии, не подходящем к понятиям жидких, твердых и газообразных тел (§ 306).

Если учесть высокую атмосферу и всю земную кору, область водяных паров – газовых водяных оболочек – занимает огромное пространство, объем которого в радиальном разрезе превышает 200 км.

58. Ту же картину водяных оболочек – *ледяных оболочек* – дает нам распределение в земной коре твердых фаз воды.

В биосфере они выражены наиболее резко; за ее пределы они едва ли переходят. В нижних участках биосферы снег и лед уже отсутствуют.

Все же прав А. Добровольский (1924), говоря о существовании на нашей планете *криосферы* – ледяной оболочки. Она сосредоточена в биосфере. Ее наиболее яркую форму дают подвижные снежные тучи и рассеянные на неозримых пространствах снежинки тропосферы и за областью собственно биосферы снежные массы стратосферы¹.

Температура подымается в верхней стратосфере. Здесь и выше, за пределами 80–100 км, твердые частицы снега и льда исчезают, опять в разреженном пространстве могут существовать только водные пары и мельчайшие капли воды.

Хотя, как я уже указывал, облака жидких капель воды подымаются очень высоко в атмосферу (§ 48), но они находятся в стратосфере в неустойчивом состоянии. Тучи и облака из снежинок и кристаллов льда должны там господствовать, и должны существовать вечно подвижные системы:

снег \rightleftharpoons капли воды.

Снежные тучи спускаются в наши низины – на высотах, уже в тропосфере, должны они преобладать. И можно рассматривать эти холодные пространства как сплошную *ледяную* или снежную оболочку в атмосфере.

Широкие области континентов и островов умеренных и полярных стран покрыты снегом, – частью временным его покровом, частью устойчивым. Так же покрыты – непрерывно – верхние части гор. Граница вечного снега спускается к уровню геоида на полюсах и поднимается до 5,6 км под экватором. И под экватором временами появляется твердая фаза воды, не только на горных вершинах. Здесь, хотя и редко, падает град, наблюдаются заморозки, замерзают воды – реки. Не каждый год, но и Нил замерзал в историческое время.

Лед покрывает мощным слоем в десятки и сотни метров толщиной в виде ледников около $16,3 \cdot 10^6$ км² ($16\,318 \cdot 10^3$ по Гессу² и Коссинна), т.е. значительную часть суши. Этот ледниковый покров составляет более 3% всей земной поверхности [3,20%, исходя из чисел, принятых Э. Коссинна (1921)]; около 1% всей суши (1,095% из тех же данных). Целый материк – Антар-

¹ Облака (снежные?) существуют (наблюдались) на высотах до 30 км (Штёрмер. 1932).

² Исходное число Г. Гесса (1904). Внесена поправка на площадь Антарктиды, уменьшенную у Гесса по числу, принятому Э. Коссинна (1921).

ктида, превышающий по размерам Европу и Австралию вместе взятые – $14,1 \cdot 10^6 \text{ км}^2$, покрыт сплошным ледниковым покровом.

За пределами этого ледникового покрова – материкового льда и ледников альпийского типа – миллионы квадратных километров в северном полушарии – в Северной Америке и в Сибири, и в южном – на оконечности Южной Америки и на островах, заняты вечной почвенной мерзлотой. В Советском Союзе ею охвачено около $\frac{1}{2}$ площади его поверхности. По исчислению М. Сумгина (1930), ею занято более $9,5 \cdot 10^6 \text{ км}^2$ (9657960 – исчисление Н. Лебедева под его руководством). Учитывая и остальную площадь мерзлоты, мы получим величину одного порядка с ледниковым покровом, т.е. больше 20% суши занято ледниками и мерзлотой.

Около полюсов огромные площади морен и океана заняты скоплениями льда, покрывающего в значительной части острова, в частности такие как Гренландия, и целый континент – Антарктиду. Около них моря и части океана покрыты подвижным и неподвижным льдом. Большая часть этого льда (в преобладающем числе – плавающие льдины) – земного происхождения; но часть льда – *солёный морской лёд* – происходит путем замерзания морей. Эта область на севере опускается до 80–85 с.ш., а на юге подымается до 65° ю.ш.

Океан приполярных областей покрыт льдом иногда на большом пространстве, и лёд длится непрерывно, столетиями или тысячелетиями, например, Россов барьер в Антарктике, известный нам более ста лет, почти неподвижный, площадь которого (больше $500\,000 \text{ км}^2$) превышает Балтийское море. Толщина этого льда достигает 250–300 м.

Но помимо этих малоподвижных ледяных скоплений с обеих приполярных стран идет непрерывный, закономерный, с закономерно меняющимся темпом, ток на север и на юг «ледяных гор». В год двигается этим путем до $1 \cdot 10^{16} \text{ г}$ льда (О. Башии, 1927). Они медленно тают, приближаясь к 40° Северной и южной широт, но заходя и далее, ближе к экватору. С севера проходят в год, по О. Крюмелю, $20\,000 \text{ км}^3$ льда в этой форме, с юга – $30\,000 \text{ км}^3$, по Дж. Боуману (Bowman, 1930), – всего $50\,000 \text{ км}^3$.

Зимой поверхностный снежный покров прикрывает в течение многих месяцев значительные площади суши, особенно в северном и в южном полушарии.

Учитывая все это, можно утверждать, что постоянно проникнуты льдом и снегом части суши в пределе $\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{3}$ ее площади, а несколько месяцев в году – больше $\frac{1}{2}$.

59. Огромные массы, слагающие этот механизм биосферы – ее криосферу, – находятся и на суше в непрерывном движении, производя огромную химическую и механическую работу. Ибо в условиях биосферы лёд пластичен, и его массы текут, текут, как жидкие реки, но с меньшей скоростью.

Источником льда является снег и снежные тучи высоких частей атмосферы, сплошной снежной ее оболочки.

Создается своеобразный механизм, который может быть совершенно правильно назван криосферой. Он непрерывно существует на нашей планете.

Он меняется в геологическом времени в своей форме и в интенсивности, и эти пульсации криосферы, как мы увидим, отвечают очень важным временам в истории планеты и в истории ее природных вод (§ 65).

Глубоко внутрь биосферы и в верхнюю стратисферу ледяные массы проникают в исключительных случаях и редко находятся на глубинах, много превышающих 100 м от земной поверхности. Но явление это очень плохо изучено для того, чтобы этот вывод мог считаться вполне установленным. Эти находения могут наблюдаться в области вечной почвенной мерзлоты и в форме ископаемого льда, погребенных ледников в связи с замиранием ледниковых покровов. Есть указания для древних ледниковых отложений Северной Америки о продолжающемся в их толще таянии ископаемого льда, дающего начало источникам с холодной водой, получаемой при бурении (ниже 3 °С – по Роджерсу), и о выходе пресных вод в той же полосе в прибрежной морской области. Явление требует изучения¹.

Не исключено замерзание грязевой морской воды в приполярных областях.

Существование ледяной или снежной оболочки в биосфере является по ее прямым и косвенным последствиям одной из важнейших черт строения области жизни.

В общем, с учетом тропосферы и стратосферы, криосфера занимает оболочку в несколько десятков километров мощностью.

Ее образование представляет проблему, которая раньше не ставилась: криосфера лежит на нашей планете между двумя оболочками высокой температуры – между высокой атмосферой и базальтической геосферой, в которой начинающееся повышение температуры – на суше уже в биосфере, а в гидросфере ниже – достигает максимума. Объяснения климатического характера для их существования представляются недостаточными. К криосфере надо прибавить область *охлажденных вод*, каковой является вся гидросфера и которой отвечают пластовые (только верховодка?) воды суши. Вероятно в современной картине сказывается недавний ледниковый период, еще не закончившийся в своем замирании (§ 69).

Но чем вызваны ледниковые периоды, периоды расширения криосферы? Этого мы пока не знаем.

60. Тот же характер водных оболочек, как это ясно из всего предыдущего, должны представлять из себя и две остальные формы, проявления воды (§ 43).

Одну из них представляет та вода, которая находится во *всяком твердом земном веществе*, которая называется *гигроскопической*, удаляется при нагревании в главной своей части ниже 100 °С. Это – проникший в твердые тела во время их образования или позже раствор, находящийся во всех тончайших трещинах и пустотах, невидных глазу; он проникает все твердые тела суши. Количество такой химически не связанной, сторонней твердому земному веществу, воды огромно. Оно колеблется для него по весу от десятых долей процента до целых процентов; едва ли когда спускается ниже 0,1%, мы вычисляем при этом молекулы воды, а не весь раствор.

Общая масса этой воды должна быть того же порядка, как масса водяных паров и воды океанов. Даже приблизительно нельзя учесть ее количество сколько-нибудь точно. Мы только знаем, что для горных пород верхних 20 км

¹ Области холодных вод и связанных с этим низкий термический градиент (Верхнее озеро) в общем не изучены.

земной коры масса химически чистой воды, в них заключенной, должна быть меньше массы воды океана.

Ясно, что так же, как сплошная масса горных пород, строящих литосферу, и проникающая их – до мельчайших частей, как губчатая масса, – *волосная пленчатая вода* должна образовывать своеобразную *водную оболочку*. Она должна выделяться при разрушении горных пород – при их выветривании и при их плавлении. Область этих явлений едва затронута; научный материал не собран. Я могу его здесь только констатировать.

61. Тоже только теперь начинает выясняться пятая форма водных оболочек – *ионная водная оболочка*.

Она выражена только в атмосфере – в тропосфере и в стратосфере – и состоит из заряженных положительно или отрицательно жидких комплексов молекул воды, ничтожных по размерам, двигающихся в соответствии с силовыми линиями электрического поля Земли и проникающих всю массу атмосферы; их число и их значение, по-видимому, увеличиваются по мере разрежения газового поля планеты.

Эти мельчайшие ионы, состоящие из воды, постоянно образуются и постоянно теряют заряды. Их размеры иногда отвечают немногим десяткам молекул – 18–36, по Д.Д. Томсону, – но возможно, что большие ионы (ионы *Ланжевена*) несут большие массы вещества. Для них принимают, по Б. Шовё (B. Chauveau), диаметр $n \cdot 10^{-6}$ см.

Размеры их таковы, что свойства жидких капель в них не проявляются; они остаются жидкими в самой сухой атмосфере: здесь проявляются свойства поверхностного натяжения воды, а не ее внутренних слоев.

Существование этих жидких водяных ионов, указанное Д.Д. Томсоном и Ланжевром, было в последнее время выдвинуто в его значении Д. Ноланом. В этой пока еще мало разработанной области много неясного. Обычно принимают, что ионы воздуха состоят из заряженных газовых атомов – азота и кислорода, – допуская их концентрацию около плавающих пылинок и около водяных частиц воздуха. Но роль водяных паров постепенно выясняется как основная. Для жидкой и парообразной воды атмосферы должно действовать вызванное частичными силами равновесие:

твердое тело \rightleftharpoons вода.

Около каждой пылинки, казалось, должен образоваться молекулярно пленчатый слой воды и должна повторяться дальнейшая структура связанно с этим равновесия (§ 11–12).

Какие изменения здесь могут вносить в это явление электрические заряды и размеры тела, не изучено.

По-видимому, ионизация земной атмосферы в значительной степени меняется с образованием и распадением этих мельчайших водяных частиц, несущих заряды и газы. В кубическом сантиметре воздуха, среди сотен, тысяч ионов, по-видимому, по весу преобладают ионы, так или иначе с водой связанные.

Ионы находятся в стадии непрерывного образования и непрерывного распада; они теряют и захватывают заряды. Образовавшиеся комплексы водяных молекул постоянно расходятся, теряя заряд. Одновременно создаются новые заряды, и общее количество заряженных молекул воды остается,

в среднем, постоянным, меняясь в связи с географическими и климатическими условиями, с характером и интенсивностью проникающих всю атмосферу излучений, – космических, идущих сверху, и радиоактивных, идущих снизу.

Общая масса воды, одновременно находящейся в этом состоянии, ничтожна. Легко вычислить, что для всей атмосферы она равна немногим тоннам, порядка 1–5 т (немногие миллионы грамм – 10^6 г), при допущении, что ионы нацело состоят из воды, что неверно. Вода лишь преобладает. Это, таким образом, число максимальное для такого состояния природных вод.

Но эти ничтожные рассеянные массы мельчайших капель, молекулярных размеров, в особом заряженном состоянии отражают в мощных явлениях не только земного, но и космического характера.

62. Причина образования этих ионов и всей ионизации атмосферы теснейшим образом связана с элементарным составом земного вещества, с рассеянием в нем прежде всего атомов урана, тория и радия.

При распадении этих атомов в атмосферу попадают связанные с этим их излучения, а главным образом газообразные эманации радия, тория и актиния, быстро распадающиеся с выделением излучений на первом месте частиц α и β , изменяющих этим путем окружающую среду.

Создание ионов находится в связи с распространением на земной поверхности радиоактивных элементов, поэтому их должно быть значительно больше над сушей, чем над океанами.

Это действительно наблюдается, но не в такой мере, как этого можно было ожидать, если бы поднимающиеся с земной поверхности газообразные эманации были бы резко господствующим или единственным источником ионизации воздуха.

На то же указывает и увеличение ионизации с высотой.

Сейчас выяснен другой источник этого процесса – так называемые проникающие излучения, открытые Гоккелем и Гессом, идущие сверху, по-видимому космические.

В сущности образование ионов воды в конце концов вызывается атомными силами. Свойства же атомов, определяющие в конечном итоге особые явления в молекуле, состоящей из кислорода и водорода, определяют и особую способность молекул воды давать эти своеобразные состояния.

Количество ионов – не все из воды, но все могут сгущать капли воды – исчисляется иногда тысячами, в среднем достигает порядка 500 в 1 см^3 ; они движутся в среднем со скоростью 1,5 см/сек. Они создают слабое электрическое поле Земли и слабую электропроводность воздуха. Нормальное электрическое поле Земли 200 в/м. Потенциал для 100 м: $3\text{--}5 \cdot 10^6$ по отношению к Земле.

В нем идут все явления атмосферы.

В больших скоплениях воды атмосферы, в тучах, ионов воды нет; но здесь деятельностью воды вызываются гораздо более мощные электрические явления, связанные с разрывом капель воды, с созданием в грозах мощного напряжения порядка 30 000 в/сек., непрерывно существующего в том или ином месте земного газообразного покрова. В этих грозовых явлениях проявляются механические движения капель и снежинок туч и во время электрических разрядов – их движения в связи с движением разрядов.

Для нас важно отметить, что в основе этих явлений стоит природная вода.

63. Таким образом, вся земная кора закономерным образом, различно в своих геосферах, проникнута разными формами *водных оболочек* – жидкой, газообразной, твердой, волосной и ионной.

Едва ли может остаться сомнение, что при таком нахождении вода не может являться случайным явлением в земной коре, что она является одним из основных элементов ее механизма, пока нам плохо известного.

Изучение этих водных оболочек позволяет сейчас пойти далее: определить состояние этих водных оболочек в ходе геологического времени.

Как мы уже видели (§ 26, 29), в общем, история воды в течение геологического времени остается схожей с современной, периодически от времени до времени, однако, подвергаясь большим отклонениям, которые затем выравниваются, и явления возвращаются к положению, близкому к исходному.

Мы наблюдаем в течение геологического времени в ее истории периодические колебания, но не какой-нибудь однозначный процесс. По существу явление от археозоя вплоть до настоящего времени остается качественно и в известной мере количественно неизменным.

Некоторые черты природных вод совсем или почти совсем не меняются и количественно. Не меняется, например, вся масса земной коры или масса гидросферы (океана), не меняется и их валовой химический состав.

В сущности это логически вытекает из признания воды минералом, ибо все минералы составляют более или менее автономные части динамических равновесий, не меняющихся в основных чертах в течение геологического времени (I, § 60).

64. Изучение колебаний около постоянного – в указанном понимании – среднего имеет первостепенное значение в истории природных вод. Они очень длительны, исчисляются десятками и сотнями тысяч лет, и поэтому картина данного времени может резко отличаться от отдаленного прошлого или близкого будущего.

Для понимания истории природных вод в данный момент времени надо знать, в каком отношении данное время находится к большим циклам, характеризующим геологические периодические колебания, отражающиеся в истории природных вод. Они отражаются главным образом, во-первых, в распределении и количестве разных водных оболочек, во-вторых, – в различном географическом и геологическом распределении одной и той же водной оболочки.

В связи с этим меняются и процессы, происходящие внутри водных оболочек.

65. Примером первого явления могут служить так называемые *ледниковые периоды*, увеличение или иная группировка снега и льда в биосфере среды поверхностных ее вод; примером второго – *перегруппировка суши и моря*, отрицательные и положительные движения суши, трансгрессии и регрессии морей, связанные с несколькими земными геосферами, вплоть до базальтовой геосферы. Причины, вызывающие эти перегруппировки, могут служить примером и третьего типа периодических изменений, резко влияющих на историю воды, безразлично к ее фазам. Так, при трансгрессиях моря, а равно и при образовании геосинклиналей, резко меняется режим рек и их химическая работа. В ледниковые периоды за пределами наступающего ледника – или в столетия и тысячелетия после его рассасывания – образуются своеобразные,

сейчас замирающие или несуществующие озерно-речные системы, придающие особый характер истории поверхностных вод суши.

В ледниковые периоды дело может быть связано с изменением – увеличением – массы твердых водных фаз в биосфере. Возможно, однако, что происходит только их перегруппировка, их концентрация на определенных участках суши. Вопрос не решен, но как будто бы происходит реальное увеличение количества льда.

При геологических перегруппировках суши и моря возможно, что объем (масса) жидкой воды остается неизменным, но распределение ее меняется. При том постоянстве океанических бассейнов, которое выясняется в строении биосферы (§ 101 и сл.), является наиболее вероятным, что происходит только перемещение эпейротических – приконтинентальных морей, как бы переливание океанических масс в прилегающие к ним области суши.

Точно так же, в связи с трансгрессией моря и ростом геосинклиналей, реки смывают сушу в новое надвигающееся море, связанное с опусканием участков планеты, причем режим рек меняется (и в интенсивности и в химическом характере субстрата) по окончании трансгрессий и остановки роста геосинклиналей.

66. Обычно все эти и, как увидим, многие другие процессы сосредоточиваются в определенные как бы критические периоды в истории планеты. Это не катастрофы, которые представляли себе многие геологи сто лет назад, но периоды усиления и ослабления изменения орографии суши и ее контуров, связанные с глубокими движениями вещества планеты вплоть до метаморфической, а может быть и гранитной геосфер.

Это – длительные периоды, обнимающие десятки и сотни тысяч лет. Они могут быть довольно точно прослежены и на истории природных вод, благодаря созданию ею водных оболочек в земной коре.

Эмпирически установленное существование периодических усилений и ослаблений геологических процессов в истории Земли сейчас не вызывает сомнений. Оно установлено главным образом на основании изучения явлений орогенеза. Споры и сомнения могут быть лишь о числе таких критических эпох и о их длительности и мощности.

Неизбежность существования таких эпох вытекает и из тех теоретических построений, далеких или близких к эмпирическому материалу, которые пытаются обосновать наблюдаемые явления. Так Г. Швиннер (1928), исходя из представления о связи критических фаз орогенеза с той причиной, которая вызвала в первый критический период выделение из Земли Луны (§ 83), считает, что возможно за истекшее время существовали 15–19 таких критических периодов, отвечающих времени, когда происходит резонанс солнечных приливов и отливов со свободным основным колебанием планет. В. Штилле (1920) считает, что различимо больше 30 изменений интенсивности орогенеза, его фаз. Вероятно, дальнейшее более тщательное изучение приведет к более дробным делениям, но в явлениях, нами изучаемых, можно оставить пока их в стороне, так как в истории природных вод мы далеки еще от той тщательности и того накопления фактов, которое необходимо для работы в этом масштабе.

Мы можем ограничиться здесь лишь самыми крупными и интенсивными проявлениями критических периодов.

67. Основываясь на орогенических – горообразовательных – процессах, достаточно различить шесть или семь таких фаз, когда образование гор достигало максимума¹.

Они относятся к миоцену (порядка $15 \cdot 10^6$ лет назад), меловой эпохе (в Северной Америке? порядка $70 \cdot 10^6$ лет назад), пермской эпохе (порядка $165 \cdot 10^6$ лет), силурийской (порядка $350 \cdot 10^6$ лет назад) и три, может быть два, – в докембрийское время (раньше $450 \cdot 10^6$ лет назад).

В эти периоды повышались все те явления в истории воды, которые связаны с вулканическими процессами, выделениями минеральных терм и струй горячей воды. Перед ними шли долгие годы – миллионы лет – усиленной трансгрессии морей и геосинклинальных осадений. После них наступали периоды, связанные с накоплением льдов, приуроченные к более влажному и может быть холодному лету. Они отделяются десятками – сотнями тысяч, едва ли много больше, лет от ранее достигнутого максимума *орогенического* процесса. В плиоцене, например, не позже, можно искать начала последнего ледникового покрова Евразии и Северной Америки, кончавшегося в историческое время. Он, с огромными длительными перерывами, начался уже более миллиона лет назад (рис. 1 и 2)².

Близко по геологическому времени можно расположить и крупные морфологические (и химические) изменения живой природы, как мы знаем, тесно связанного в своем бытии с природными водами.

Эти даты конечно очень суммарны, но общее явление, мне кажется, эмпирически установлено правильно. Надо при его учете избавиться от того исторического времени, в котором мы привыкли мыслить, и мыслить во времени геологическом. В масштабе миллиарда лет геологического времени сотня тысяч лет отвечает для исторического времени (порядка 10 000 лет) двум годам или даже четырем годам (в масштабе 20 000 лет). Что значит в истории человечества два или четыре года?

Группируя явления около орогенических максимумов, мы получаем несовершенную, но способную усовершенствоваться, точную их меру.

Причина повторности периодов орогенических кризисов нам неясна. Может быть, самая глубокая попытка их охвата была дана недавно (1924) Д. Джоли, связавшего ее с количественными соотношениями в земной коре радиоактивных элементов, диссимметрией земной коры (§ 93) и с распределением в ней энергии распада радиоактивных атомов.

68. Для понимания истории природной воды очень важно знать, в каком отношении к этим большим планетным критическим периодам находится та природа, которую мы изучаем в минералогии. Кризисы наступают и отходят медленно – десятками тысяч лет, и отвечающая разным их стадиям картина истории минералов постоянно меняется. Она различна во время отступаний и наступаний кризиса, в разном расстоянии от минимума и максимума

¹ Полезно иметь в виду, что в течение геологического времени количество полных оборотов пашен галаксии было равно 5–6 (Эддингтон, 1931).

² Рис. 1 по А. Колеману (1926). Рис. 2 по В.А. Обручеву (1930). Карта Обручева встречает возражения, и может быть в нее будут внесены поправки, которые уменьшат площадь оледенения. Мне кажется, что поправки в восточной части едва ли изменят общий вывод В.А. Обручева и необходимость увеличения площади льда по сравнению с обычными представлениями, которым отвечает рис. 1.

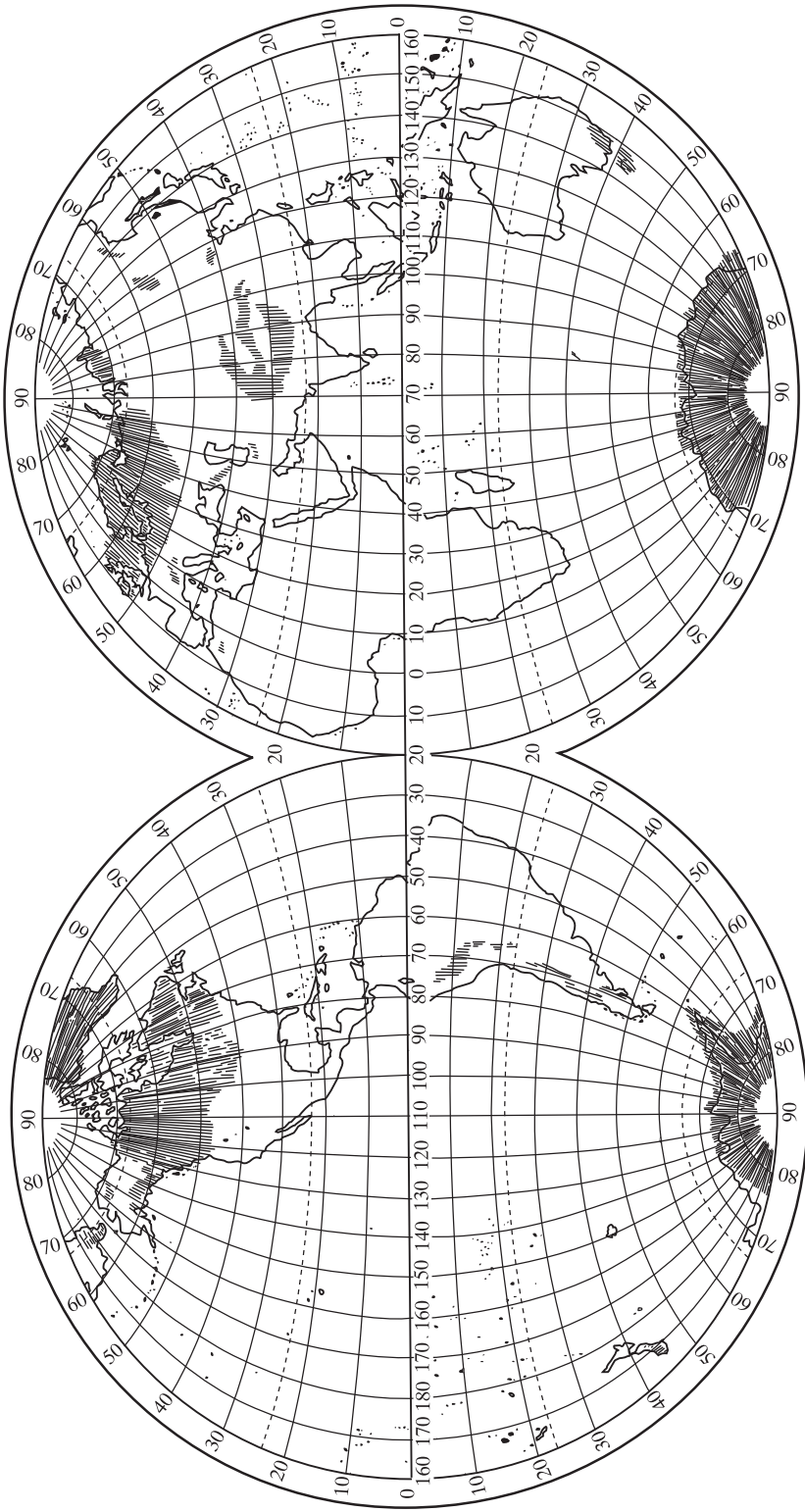


Рис. 1. Карта оледенения земного шара

«пароксизма» (учтенного в геологическом времени) В каком положении к этим большим возмущениям земной коры находится та картина истории природной воды, которую мы сейчас имеем возможность наблюдать?

Можно утверждать, что она отвечает очень определенному любопытному и важному моменту в истории нашей планеты.

69. Все указывает – и необходимо это учитывать, когда мы охватываем современную картину изучаемой нами истории природных вод, – что мы живем в периоде замиранья ледниковой эпохи. Еще сохранились необычные, по-видимому, льды Гренландии, Антарктиды¹ и остатки «ископаемого» льда на севере Сибири и окружающих островов. Окончательный отход последних масс льда в Южной Скандинавии и на Датских островах произошел 13 500–14 000 лет назад; приблизительно в то же время совершился он в Северной Америке (освобождение из-под льда долины Массачусетса) 10 000–10 500 лет назад. По критической сводке Э. Антевса (1928) вероятный максимум развития и начало таяния последнего ледникового массива относится ко времени 40 000 лет назад ($\pm 10\,000$).

Во всяком случае это было недавно, уже в историческое время, и мы в истории природных вод сейчас на каждом шагу сталкиваемся с недавним максимумом криосферы: например, в картине вечной мерзлоты подпочв Евразии и в развитии озер, замирании их в областях суши за пределами последнего великого оледенения.

Мы дальше отошли от максимума вулканической деятельности, тектонических движений, проявлением которых они являются, – однако мы не дошли еще до среднего, устойчивого равновесия. Нельзя забывать, что этот последний ледниковый период был самым большим после докембрийских таких же проявлений. В меньшей мере, чем с отголосками ледникового движения, мы должны считаться с тем замиранием тектонических и вулканических изменений, максимум которых был в третичной эпохе. Это в истории воды сказывается как в уменьшающемся приносе ее горячих масс в вулканических процессах, так и в уменьшающемся количестве минеральных источников и горячих газовых (водных) струй.

Еще дальше мы отошли от трансгрессии морей, геосинклиналей и связанного с ними своеобразного разрушения суши и режима рек. Ни трансгрессионных морей, ни геосинклиналей и сносящих в них разрушенный и растворенный материал рек нет в окружающей нас природе, нет в биосфере.

В меловой эре – период порядка 70, вероятно больше, миллионов лет – замерли последние большие геосинклинали. Но все же высота современной суши вызывает денудацию больше средней. Сейчас денудация идет в 5–15 раз быстрее среднего (Баррель, 1917). Это связано и с тем, что эпейрогенические и внутренние моря в палеозое и в мезозое занимали большие пространства. А потому материал денудации больше проникает в Океан.

Эти картины замиранья и погашения пароксизма исчезают, когда мы переходим к бытию *биосферы* в данный момент, к проникающему ее миру живых организмов. Здесь мы видим новый резкий скачок, небывалое по силе

¹ По О. Мейнардусу (1928), в разгар постплиоценового ледникового периода площадь покрытой льдом Антарктиды была в три раза больше современной.

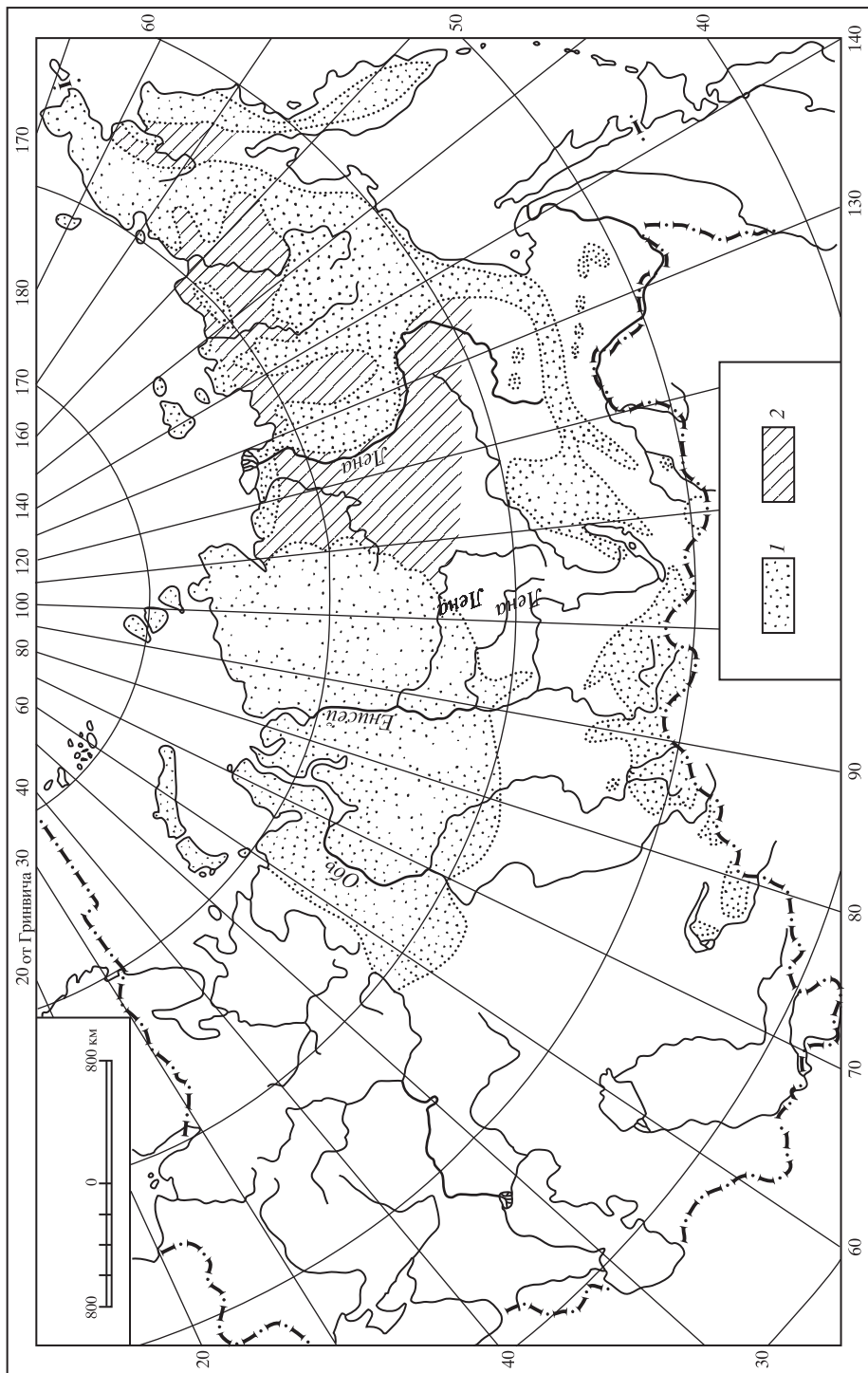


Рис. 2. Карта наибольшего оледенения Сибири:
 1 – сплошной ледниковый покров; 2 – неподвижные (?) поля фирна

увеличение значения жизни в истории воды. На нашей планете, в биосфере, как раз в наше время появилась новая, раньше неизвестная, огромная геологическая сила в лице *Homo sapiens faber* – резко меняющая извечно установившиеся физико-химические равновесия. Его работа резко сказывается в истории природных вод, резко меняет извека установившиеся ее формы.

В эволюционном изменении жизни мы живем в период его яркого усиления – в *начале психозойской эры Земли*.

70. При такой картине смены и повторяемости характера водных оболочек в течение года геологического времени чрезвычайно характерна устойчивость – геологически длительная – некоторых черт гидрохимических и гидрологических процессов на *определенных участках нашей планеты*. Мы увидим ниже, что современная картина распределения суши и океанов является чрезвычайно древней. Бассейн Тихого океана в главной части существует, сколько можно судить, с самого начала палеозоя, а очень вероятно много раньше.

Может быть, океан находится на том же месте извечно в геологическом времени (§ 108). Этим определяются и основные черты современного механизма в истории природных вод. Но постоянство идет и дальше. Современные льды Антарктиды и северные приполярные находятся на том же месте по крайней мере с третичной эпохи. Так же длительны и географически неизменны современные пустыни с их своеобразным режимом вод – с третичного времени (А. Вегенер, Б.Л. Личков).

71. Все же важные и большие черты истории природных вод в современном состоянии исчезают из нашего рассмотрения.

Очевидно, целый ряд форм нахождения семейств вод, когда-то бывших, не существует или слабо выражен в нашей современной эпохе.

Вероятно отсутствуют и некоторые классы вод. Это не значит, что они исчезли совсем из нашей планеты. Они вновь должны создаться на ней, когда вновь повторятся положения в истории земли, которые не будут аналогичны современному. Но как раз это подлежит нашему обсуждению, и изучение современной нам эпохи действительно заставляет думать, что могут быть формы, минералы воды, которые ныне не существуют, и что сейчас отсутствуют формы, которые вновь могут появиться.

Сейчас отсутствуют некоторые из тех форм поверхностных вод, которые связаны с ледниковыми периодами, создавшие, например, флювиоглациальные отложения. Химический состав этих вод не мог вполне соответствовать современной речной или озерной воде. Однако, по-видимому, различия не были очень значительны.

Гораздо значительнее должны были быть различия в составе речных вод суши в эпохи тех форм эрозии, которые связаны с геосинклинальными, ныне отсутствующими, движениями земной коры. Но и здесь едва ли были большие отличия, ибо, как мы увидим, нет никаких сколько-нибудь серьезно обоснованных указаний на изменения в эти эпохи морской воды. Состав воды Мирового океана вырисовывается нам сейчас, взятый в среднем независимым от времени, неизменным в течение геологического времени. Приходится, следовательно, думать, что растянутые на длинные века геологического времени эти изменения состава вод суши не были настолько значительны, чтобы изменить

в заметной степени состав воды Мирового океана. Но надо все время помнить, что точность этого нашего заключения только такова, что мы можем заметить лишь большие изменения состава морской воды. Критика наших данных показывает, что все довольно распространенные указания на резкие изменения этого состава не являются эмпирическим обобщением, а представляют гипотезы, не охватывающие всю совокупность фактов.

Можно ожидать чрезвычайного разнообразия природных вод в периоды увеличения вулканической деятельности и особого их характера в те эпохи больших базальтических излияний, которые нам неизвестны в историческое время и в нем не существовали. Хотя в масштабе планеты – и проецированные из геологического времени на наше историческое или даже четвертичное время – эти процессы ослабеют в своем эффекте, все же здесь не только могут, но должны существовать новые, для нас сейчас не существующие минералы воды – минералы «ископаемые», характер которых может быть восстановлен при дальнейшем росте научного знания.

Иные, нам неизвестные формы воды существовали, по-видимому, и в тех пустынных или полупустынных областях, где в триасовую или пермскую эпоху отлагались медные или свинцовые руды, связанные с замиранием водных мелких бассейнов. Но здесь, может быть, различия были не так велики, как они представляются на первый взгляд. Все же, едва ли может возбуждать сомнение, что они были.

72. Можно привести и целый ряд других примеров вод, существовавших в другие геологические эпохи, для которых мы не находим представителей в психозойской эре. Но для всех приведенных случаев и для других, о которых я здесь не упоминаю, остается нерешенным вопрос: были ли это тела, единжды существовавшие, или тела, принадлежащие к повторяющимся условиям геологической истории? Являются ли они аналогичными видам животных и растений – вымершим, не повторяющимся звеньям, – или же они аналогичны таким явлениям, как увеличение площадей материкового льда – ледниковым периодам, повторяющимся и несущим в разное время все основные черты, им свойственные. Оба решения возможны.

73. В истории природных вод мы имеем несомненные указания на то, что геологически могут быть минеральные виды природных вод, которые не повторяются и которые раньше не существовали.

Таковы воды *органогенные*, созданные явлениями жизни, всегда иной и меняющейся в геологическом времени.

Каждый вид и раса имеют свой химический состав только им свойственный, и совершенно определенным образом меняют окружающую среду. Следовательно *органогенные воды*, например, лесов каменноугольного периода будут иные, чем органогенные воды лесов нашей эпохи.

Раз меняются морфологически виды организмов – создаются новые, исчезают старые, – меняется и их состав, меняются, исчезают старые и появляются новые органогенные воды.

Частным случаем органогенных вод являются *культурные воды*. Здесь действует организм не своим составом, не своим метаболизмом и экологически, – действует человек своей техникой.

Культурных вод никогда раньше не было в биосфере, и очевидно никогда они вновь не повторятся, так как они связаны в своем существовании с не-

повторяющимся в ходе времени единичным явлением, с *Homo sapiens faber* – звеном в эволюционном процессе изменения живых природных тел.

Может быть такие же неповторяющиеся природные воды существовали и в другие геологические периоды в стадиях близких к тем коренным геологическим переломам, на которые указывалось (§ 67).

Именно для такого чувствительного динамического равновесия, каким является каждая природная вода, можно ждать возможности таких неповторяющихся форм.

Эти тела – настоящие вымершие минералы. Они имеются среди органических вод древних периодов, а равно и среди *культурных вод* прошлых веков исторического времени; эти воды едва мною здесь затрагиваются, так как для первых почти нет точных химических исследований, а вторые сознательно (§ 133) мною оставляются в стороне.

Диссимметрия в положении природных вод в земной коре

74. Исключительное положение вод в земной коре и охват ими верхних геосфер позволяют видеть в их истории с большею, чем для какой-нибудь другой группы минералов, ясностью чрезвычайно глубокие черты строения земной коры и всей планеты. Эти глубокие черты строения все еще недостаточно охвачены строгой научной теоретической мыслью. Здесь часто трудно провести границу между точно установленными научными эмпирическими обобщениями и гипотетическими построениями. Не всегда возможно выяснить, насколько правильно распространяется на прошлое вывод из настоящего геологического состояния планеты.

Но недостаточность и неясность наших знаний не позволяют оставлять без рассмотрения явления, существование и значение которых, может быть не совсем в той форме, в какой они нам сейчас представляются, несомненно. Их значение в истории планеты растет на наших глазах в наших представлениях, ибо как раз в эти области направляется сейчас творческая геологическая научная мысль.

Считаясь с этим, все же надо учитывать меньшую, чем обычно, достоверность многих эмпирических обобщений в этой области.

Удобно рассмотреть отдельно современное распределение природных вод в связи с строением земной коры и их прошлую историю в том же аспекте.

В современных условиях бросаются в глаза: 1) резкая зависимость природных вод в биосфере от их географического места на поверхности планеты и 2) возможность географически определить на земной поверхности различия истории воды в глубоких оболочках земной коры.

«Географическое место», в котором наблюдается история воды, не есть, таким образом, поверхностное явление, это свойство *биосферы*. Оно есть проявление на лике земли механизма во всяком случае *земной коры*, а может быть – более глубоких явлений.

75. В биосфере исключительное значение природных вод в явлениях климата, который в самой существенной своей части определяется историей природных вод, сразу ставит минералогии вод в тесную зависимость от географического их положения.

В явлениях климата резко проявляется их зональность, распределение их определенными *поясами*, в несомненной – но не исключительной – связи с полюсами, т.е. с наклоном земной оси к эклиптике.

Эта зональность ярко отражается на истории природных вод и прежде и резче всего на истории *наземных вод*.

Она проявляется во взаимоотношениях и в характере жидких, твердых и газообразных фаз таких вод, в их составе, в их количестве, в их морфологических (физико-географических) условиях нахождения. Точно так же в теснейшей связи с климатическими зонами находятся поверхностные воды бессточных областей (пустынь и полупустынь), областей, бедных осадками; здесь сосредоточиваются рассольные озера, соленые реки.

На всей поверхности планеты в общих основных чертах, идя к экватору от северного или от южного полюса, мы наблюдаем единообразное повторение процессов природных вод.

Скопления льда и снега повторяются у южного и северного полюсов; области тундр и болот, лесов холодных и умеренных широт, степей и пустынь, подтропических богатых водными осадками областей могут быть отмечены по обе стороны от экватора, в обоих полушариях, в одинаковой последовательности (§ 100).

Эта зональность в первую голову определяется наклоном земной оси к эклиптике – различным и закономерным по отношению к этой оси солнечным нагреванием, могущественно влияющим на природные воды, точка плавления которых как раз попадает в пределы создаваемых нагреванием солнца температур и обуславливает основные черты их истории в биосфере.

76. Однако более внимательное изучение климатических поясов показывает, что их распределение не вполне соответствует земным полюсам и далеко не находится с ними в простой математически выражаемой связи.

В общем центр климатических поясов не совпадает с астрономическими полюсами. К сожалению, сколько знаю, эта задача математически не обработана. Мы знаем в частности, что полюсы холода, например, лежат в северном полушарии на несколько десятков градусов в сторону от астрономического полюса ¹.

Распределение климатических поясов только в первом приближении совпадает с положением астрономических полюсов. Оно может отходить от него по широте в пределах 20–25°, а может быть и больше, и реальные полюсы климатических зон могут не лежать на одной линии, проходящей через центр планеты, как это ясно для современных полюсов холода. Такое несовпадение и в то же время сохранение порядка чередования поясов наблюдаются на каждом шагу и в частности. Так, например, для климатических поясов Атлантического океана метеорологический экватор лежит в виде неправильной кривой на несколько градусов к северу от астрономического экватора, по Г. Шотту (Schott, 1926).

Это надо иметь в виду, когда мы станем переносить в глубь геологических времен выводы современной картины климатов и судить о климатах прошлых геологических эпох.

¹ Северный полюс холода находится где-то в Гренландии, в ее внутренних ледяных пустынях (65–70° с.ш.). Южный – в Антарктиде. По-видимому, они не лежат на одной линии, проходящей через центр планеты. Сибирский полюс холода – около Верхоянска (67° с.ш.) – существует только два месяца (декабрь–январь) и, очевидно, не может считаться планетным полюсом холода.

77. Нарушение астрономической картины вызывается, во-первых, распределением – очень своеобразным – материков и океанов и, во-вторых, различной высотой суши, как в целом для отдельных континентов, так и в пределах отдельных континентов. Другие явления, хотя и значительные по эффекту, влияют меньше.

Основной возмущающей причиной является резкая несимметричность по отношению к земной оси вращения распределения суши и моря. Но огромно влияние и высоты суши над уровнем океана.

В связи с высотой, с падением температуры, считая от уровня моря, и здесь наблюдается поясной характер распределения и истории природных вод, во многом схожий с климатическими поясами биосферы, но для этих явлений есть не два, а один полюс. На определенной высоте, разной в разных местностях, начинается область снега и льда (вечная снежная линия), твердых фаз минералов воды, аналогичная приполярным областям. Ниже, в зависимости от положения местности, появляется безлесная зона, аналогичная тундрам и степям, зона лесов со всем их разнообразием.

Но помимо этого, огромное значение имеют горные хребты в связи с их влиянием на движение ветров, несущих водяные пары и меняющих круговорот природных вод.

В основную картину климата эти орографические явления вносят коренные изменения и нередко приводят к смещению и резкому изменению площади климатических поясов.

Уже среднее поднятие континентов над уровнем моря вызывает смещение климатических зон по сравнению с окружающими их океаническими бассейнами.

Значительные изменения климатических зон производят другие физико-географические явления, например, морские течения, связанные, правда, с распределением суши и моря.

78. Основным фактором, в конце концов, является одна черта строения земной поверхности – резко различное на этой поверхности распределение суши и океанических бассейнов. К нему сводятся в значительной степени и те частные явления, на которые только что указывалось.

Основной чертой, бросающейся в глаза, но которая вошла в научное сознание только в конце XVIII, – начале XIX в., является резкое различие двух полушарий, из которых в одном резко выражена суша, а в другом – море.

В 1798 г. Кларэ де Флерье (Claret de Fleurieu, 1738–1810) впервые указал на то, что суша сосредоточена в северо-восточном полушарии, а океаны – в юго-западном и что такая диссимметрия лика Земли является ее важной и характерной чертой. Ему же принадлежит идея гидросферы – единого Всемирного океана.

Мы знаем, что 70,8% земной поверхности заняты морями и океанами, а 29,2% заняты сушей, т.е. отношение океана к суше выражается отношением 2,43 : 1.

Для Кларэ де Флерье было ясно, что полюс одного из них – северо-восточного полушария – находится где-то около Парижа.

Сейчас эта задача решена точно. По Берже (1916), материковое полушарие будет заключать 53,3% океана и 46,5% суши, а океаническое – 89,5% океана и 10,5% суши¹.

¹ По новым пересчетам Э. Коссинна (1921) числа будут: океаническое полушарие 88,4% воды и 11,6% суши, континентальное полушарие – 53,2% воды и 46,8% суши. Он принял установку А. Пенка (1899) – полюс у Нанта.

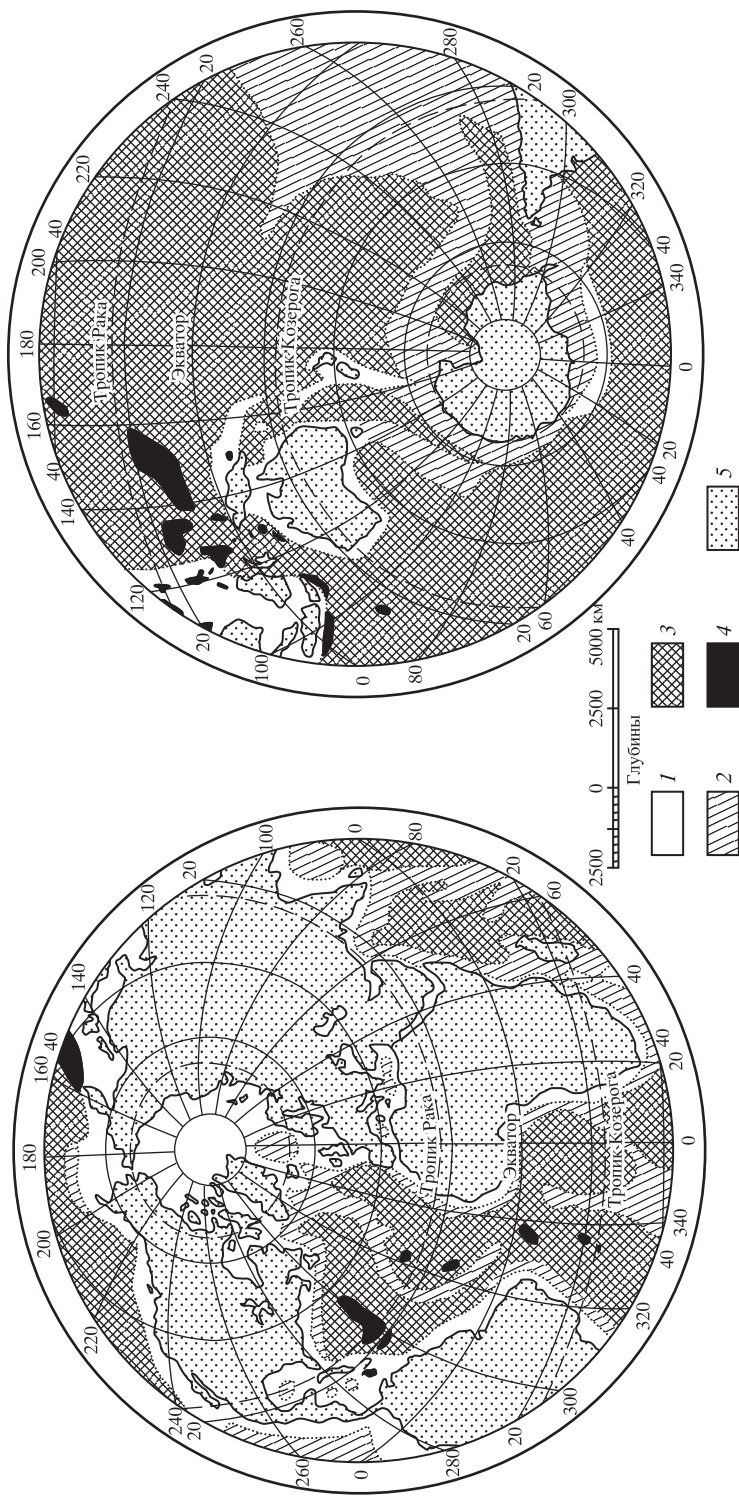


Рис. 3. Материковое и океаническое полушария
 1 – менее 200 м; 2 – 2000–4000 м; 3 – 4000–6000 м; 4 – более 6000 м; 5 – суша

Один из полюсов такого распределения полушарий будет находиться у берегов Франции, на острове Дюмэ, недалеко от устья Луары; другой – в океане, южнее Новой Зеландии; по А. Берже (1916), положение северного полюса определяется: $47^{\circ} 24' 4''$ с.ш. и $2^{\circ} 37' 13''$ (от Гринвича) в.д. (рис. 3)¹.

Характерно, что и при таком распределении вода преобладает над сушей и в континентальном полушарии. Отношение воды к суше будет здесь 1,12–1,15.

79. Расстояние этих точек от астрономических полюсов значительно превышает отход от них полюсов холода (§ 76), но по-видимому не выходит за пределы тех колебаний, которые имели климатические полюсы в геологическое время (§ 99).

Резко несимметричное распределение суши и моря станет еще более ясным, если принять во внимание распространение глубин. Можно видеть, что наибольшие глубины сосредоточены в водном полушарии. Средняя глубина океана в этом полушарии, по Э. Коссинна (1921), равна 4070 м, а в континентальном полушарии – 3320 м. Учитывая среднюю высоту континентов, в континентальном полушарии (750 м) и в водном полушарии (1200 м), Коссинна получает для среднего уровня литосферы в водном полушарии – 3460 м, а в континентальном – 1420 м. Больше чем на два километра она в среднем лежит глубже в водном полушарии, чем в континентальном.

80. Граница между сушей и океаном несомненно меняется, и очень сильно меняется, в геологическое время. Как мы знаем, континенты окружены мелководной областью – континентальной платформой, шельфом, связанным с континентами своей геологической историей. Если прибавить всю площадь континентальной платформы (по исчислениям Коссинны) к суше, мы получим отношение море: суша, равным 1,93.

Но это предел логически чисто формальный, так как мы знаем, что никогда одновременно площадь континентальной платформы не была сушей; все указывает только, что она в большой, по крайней мере в значительной, своей части в те или другие, но разные, геологические эпохи ею была.

Точно так же только логически формальное примерное значение может иметь и другое представление о минимальном развитии суши. Из соображений, которые можно научно защитить, но которые не являются в большей своей части научно обязательными, не являются научными фактами или научными эмпирическими обобщениями, А. Пенк вывел, что во все геологические периоды по крайней мере одна треть площади континентов, оставалась неизменно сушей, две трети мелководными морями (300–800 м глубиной, в среднем 500 м). Отвечающая им вода составляла – в пределе – $\frac{1}{8}$ (т.е. 12,5%) воды океана. 77,5% воды должны были всегда находиться в океаническомместилище.

Учитывая это максимальное развитие моря, мы получим для отношения море: суша число 7,79.

В пределах отношений 7,79:1,93 как будто могут колебаться наши представления о диссимметрии в строении земной коры.

81. Но значение этих цифр не должно преувеличивать. Они указывают лишь на примерную степень колебания море : суша в геологическом времени, всегда, однако, с неизменным преобладанием площади гидросферы.

¹ На карту нанесены глубины. Они сосредоточены в водном полушарии.

Наиболее решительные сторонники подвижности современной картины лика Земли в смысле распределения суши и моря допускают, что *около половины* всей земной коры связано в своей структуре с континентами¹. Это значит, что в течение геологического времени половина земной коры непрерывно проходила через стадию континентов. Так как ясно, что никогда для всех участков коры максимальное развитие океанов не могло быть явлением одновременным, то отсюда следует, что *преобладание площади океанов над площадью суши должно было существовать неизменно в течение всего геологического времени*².

Очень возможно, что отношение море : суша, т.е. число 2,43³, не является случайным. Его точное определение представляет сейчас большой интерес⁴.

82. Оставаясь на почве эмпирических фактов и наблюдений, необходимо отметить черты диссимметрии в строении биосферы, связанные с водными растворами, черты, которые кажутся геологически очень неизменными. Они указывают на чрезвычайную прочность того механизма, какой выясняется в распределении вод и который должен, по-видимому, объясняться только как взятый в совокупности.

Эти черты следующие:

1. Больше половины всей воды земной коры собрано на земной поверхности в *одной массе* в жидком виде. Сколько можно судить, масса эта неизменна в геологическом времени.

2. Масса эта распределена в биосфере так, что выделяется *два полушария* – одно с резким преобладанием воды и другое, в котором отношение между водой и сушей близко к 1,12–1,15. Вода преобладает.

¹ Л. Кобер (1928) считает, что по своей геологической истории только приблизительно половина всей земной коры связана в своей структуре с континентами. Его выводы проникнуты экстраполяциями и гипотезами, еще не доказанными (ср. § 108).

² Едва ли можно считать сейчас в текущей научной работе с представлением о таком геологическом прошлом нашей планеты, когда вся ее поверхность была покрыта водой – «панталассой» Э. Зюсса. Эта идея была высказана им как возможный результат тектонических движений при чрезвычайно упрощенном – одностороннем – представлении о строении земной коры. Зюсс принимал эти движения как определяющие все остальные явления в биосфере. Еще дальше в прошлое отошли идеи Э. Канта о возможном полном усыхании и уравнивании поверхности планеты. Оставляя в стороне то, что Кант не мог иметь понятия о мощности гидросферы, нельзя не отметить все же, что Кант здесь шел тем же логическим путем, которым почти через сто лет пошел Зюсс. Он выдвинул одно из многих явлений земной коры – денудацию – и экстраполировал ее следствия. И тектонические движения и денудация идут, однако, одновременно и в противоположных направлениях.

³ Э. Коссинна считает, что точность определения его доходит «до нескольких сотых». Однако в этом утверждении есть недоказанные предпосылки – такова предпосылка об Антарктиде как сплошном континенте (около 9,3% суши); возможно, что большая, чем это предполагают, часть ее площади окажется принадлежащей морю. Точно так же, наоборот, суша, может быть, занимает большее пространство в северных приполярных странах, чем это допускает Коссинна. Возможно, что будет число 2,5, а не 2,4.

⁴ Любопытно, что 2,4–2,5 близко к отношению удельных весов океана (около 1,04, учитывая изменение удельного веса с глубиной благодаря сжатию) и верхней части континентов – до средней глубины океана 3,8 км. Эта величина для континентов должна быть порядка 2,4–2,6, учитывая, что средняя плотность всей земной коры около 2,7% и что большая часть суши состоит из осадочных пород, удельный вес которых ниже. Совпадение в этой форме, отмеченное Л. Ромье (1890), существует и не опровергается, как это думает Э. Коссинна (1921), его исчислениями. Вес океанов приблизительно равен весу суши до глубины 3,8 км.

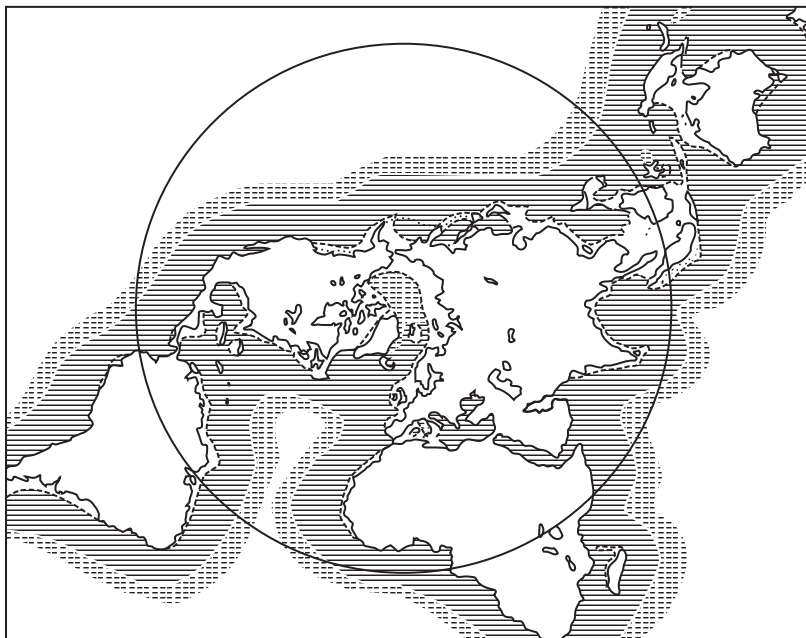


Рис. 4. Карта материков, показывающая единство суши

3. В среднем эта масса собралась в одном вместилище на земной поверхности, которое обладает мощностью в среднем в 3,8 км, причем средний уровень дна этого вместилища лежит на 2 км ниже в водном полушарии по сравнению с полушарием, богатым сушей.

4. Сама *суша* распределена так, что подавляющая ее масса (все континенты) представляет как бы единое целое. Приведенная карта (рис. 4) дает об этом представление¹. Возможность объединения подавляющей части суши в одно полушарие ясно подчеркивает такой характер суши. Основываясь на вычислениях И. де Вяндта (de Windt, 1898), можно утверждать, что расстояние между континентами нигде не превышает 500 км, учитывая лежащие между ними острова и мели; область глубин (больше 1000 м) прерывает континентальные массы в немногих местах и очень узка².

83. Все эти черты строения явно указывают на какое-то глубокое явление, на неслучайность распределения суши и моря.

Причина этого явления нам непонятна и загадочна.

Научно мы объяснить его еще не можем; но в научно-космогонических о нем представлениях мы подходим к возможности научной проверки.

Основываясь на идеях Г. Дарвина и их обработке в новейшей космогонии, Р. Швиннер (1928) придал этим представлениям форму, допускающую науч-

¹ Взято у Осборна (1928).

² Наибольший перерыв наблюдается в положении Антарктиды. Но и здесь наиболее узкое место между Южной Америкой и Антарктидой (Дрэков пролив) уменьшается, если принять во внимание своеобразную цепь островов и мелкого моря, проходящую через Южно-Шетландские, Южно-Оркнейские, Фолклендовы острова и Южную Георгию. Измерения глубин в этой области очень суммарны и требуют детального исследования.

ную проверку, и перенес их в геологическое время, связав с периодами больших периодически повторяющихся геологических возмущений (§ 66). Он связал образование основной впадины – Тихого океана – с отделением Луны от Земли, первого основного факта в истории нашей планеты (Луна – единичное явление в планетной системе Солнца), происшедшего в лаврентьевскую эпоху, т.е. более миллиарда лет тому назад. Отделение Луны могло произойти в связи с явлениями приливов и отливов благодаря особому распределению масс в нашей планете до этого разделения и характеру собственных колебаний нашей планеты. Разделение произошло при совпадении явлений резонанса между волнами приливов и отливов и собственными дрожаниями планеты: получился единичный огромный толчок приливных волн и земных масс.

Этот вывод получает большое значение, так как переносит начало диссимметрии – отделение Луны – в кадры геологического времени, в архейскую эру.

Геолог не может в связи с этим оставлять эту возможность без внимания; он должен ее учитывать в своих наблюдениях и в своих построениях.

Не обсуждая, конечно, здесь этих теоретических положений, надо отметить основные выводы Швиннера, вводящие его теоретические представления в круг геологических явлений и позволяющие проверку: 1. Отрыв луны произошел в лаврентьевское время. 2. С тех пор очень быстро установились на нашей планете – и на Луне – те же самые, в общих чертах – физико-географические, явления, какие мы наблюдаем теперь. Неизбежные изменения суток Земли и Луны – устойчивости геологических явлений с этой отдаленной эпохи не противоречат.

84. Выделение Луны из Земли дает чрезвычайно простое объяснение характеру диссимметрии, указанному в § 78; этим объясняется скопление всей массы воды в одной впадине (рис. 3 и 4), – эта впадина (главным образом Тихий океан) отвечает месту, откуда ушло в небесное пространство вещество Земли при образовании «двойной звезды» Земля-Луна; этим объясняется преобладание воды Океана над сушей, так как часть поверхности суши потеряна¹; этим объясняется и единое тело суши. Идея о генезисе Тихого океана в связи с генезисом Луны была впервые давно высказана У.Г. Пиккерингом (1907–1924), но только в последнее время обратила на себя серьезное внимание.

Начало лаврентьевской эры, если точная проверка подтвердит вывод Швиннера, была началом, диссимметрии в истории воды; оно же было началом образования биосферы и влияния жизни на процессы природных вод (Вернадский, 1930). С этого времени образовались виды современных поверхностных вод. Воды пластовые появились позже.

Важно, что тут возможна количественно точная проверка, которая в конце концов выяснит, можно ли допустить это объяснение².

¹ Объем, занятый океанами, недостаточен по сравнению с объемом Луны, – т.е. должна была удалиться большая масса. Конечно, это не противоречит полученному в результате эффекту – океанической впадине. Объем Луны около $5 \cdot 10^9$ км³, объем Океана $1,3 \cdot 10^9$ км³. Очевидно, удален был верхний слой с большей поверхности Земли, так что явление допустимо.

² Есть ряд других явлений, которые прекрасно укладываются в рамки этой гипотезы. Так, сперва Л. Бауэр (1923), а недавно О. Ли (Lee, 1930) указали, что диссимметрия проявляется в магнитном поле Земли, определяет положение магнитных полюсов на поверхности планеты;

85. Несомненно, такая резкая диссимметричность в распределении воды и твердых минералов на поверхности планеты является чрезвычайно важной чертой в строении планеты и должна проявляться в разнообразнейших явлениях; она может отражаться даже вне планеты в ее мировом положении.

На некоторых явлениях необходимо здесь остановиться и прежде всего на перемещениях Всемирного океана на поверхности планеты, независимых от остальной ее массы, под влиянием действия небесных светил – Луны и Солнца.

Эти движения становятся возможными только благодаря его большой массе, его скоплению в одном месте, т.е. диссимметрии биосферы.

Приливы и отливы дают нам понятие о движении масс воды порядка $1,6 \cdot 10^{24}$ г под влиянием Луны и Солнца.

Они приводят к явлениям космического порядка, должны отражаться на вращении планеты вокруг своей оси, вызывать трение между планетой и массой воды, удлинять сутки. Это удлинение земного вращения не может проходить бесследно для движения Луны вокруг Земли, должно изменять ее орбиту. По-видимому, это одна из причин векового возмущения движения Луны, открытого современником Ньютона Э. Галлеем. Если бы процесс трения водных масс происходил непрерывно с одинаковой с нынешней интенсивностью, то в древнем или в среднем палеозое – 550 млн лет назад – сутки были бы на 48 мин или около этого длиннее, чем ныне¹ явление измеримое, но геологическое его значение очевидно невелико.

86. Гораздо более мощные явления вскрываются в пределах нашей планеты.

И прежде всего выявляется, что *диссимметрия*, связанная с распределением суши и воды, есть явление *земной коры*, но не всей *планеты*.

Это явление более глубокое, чем долгое время думали, геологическое, а не географическое, но оно довольно быстро погашается, не чувствуется глубже 60 км от земной поверхности.

Максимально диссимметрия проявляется на земной поверхности. Она сказывается в распределении тяжести.

Изучение гравитационных величин под океанами и сушей указывает, что распределение тяжести иное под океанами и на суше. Несмотря на то, что мы имеем в океанах огромные скопления удельно легкой воды, в среднем мощностью 3,8 км, а на суше всюду сплошную в 2,7 раза в среднем (для 20 км) более тяжелую массу силикатов и алюмосиликатов, – ожидаемого резкого различия констант тяготения не наблюдается.

Происходит выравнивание. Это может быть объяснено только одним путем – путем гидростатического выравнивания участков земной коры в верхней, механически и физически неоднородной, оболочке планеты.

это положение связано с Тихоокеанской впадиной; строение магнитного поля Земли как бы сохраняет отпечаток былой катастрофы, основного события в истории нашей планеты. Как недавно указал Г. Тернер (1930), все землетрясения, глубина причин которых превышает 200 км, сосредоточены в области Тихого океана. Там замирает, но еще отражается процесс, происшедший миллиард – полтора миллиарда лет тому назад; он проявляется более глубоко, чем самые мощные орогенические процессы, которые мы изучаем в строении земных слоев.

¹ Я исхожу из чисел де Ситтера (de Sitter, 1928), указывающего, что в результате удлинения дня в 250 млн лет астрономический месяц будет на одни сутки короче и что увеличение суток в $20^8 \cdot T^2$ в столетие (для части в $9^8 \cdot T^2$ (s = секунда) объясняется трением земных водных масс при приливах и отливах.

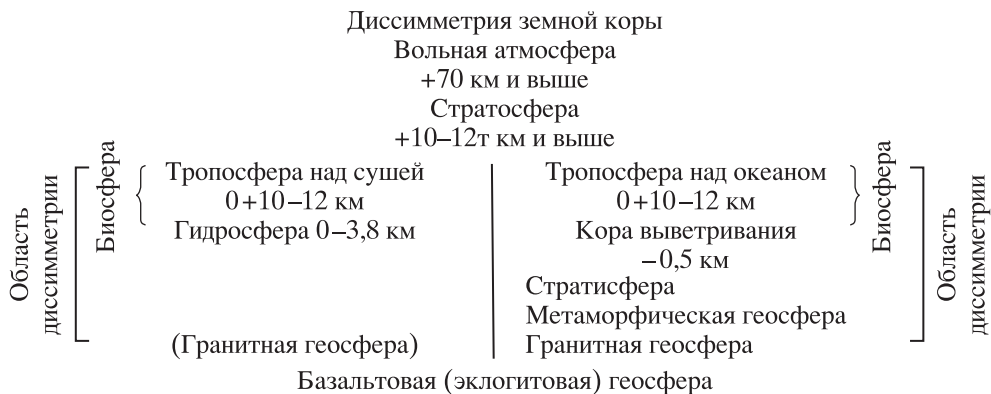
Изучение распределения гравитационных постоянных на океанах и на суше подтвердило то учение об изостазисе, которое было высказано в 1885 году Праттом и Эри¹ в связи с наблюдениями гравитационных явлений в горных хребтах.

Разнородные по удельному весу горные породы в земной коре, так же как и разные по толщине их массы (горы и горные цепи), распределены так, что в среднем получаются – в вертикальном разрезе – одинаковые гравитационные величины для всех мест земной поверхности. Необходимо допустить, исходя из этих наблюдений, влияние этой неоднородности земной коры до глубины около 60 км – до уровня изостазиса. Под океанами, значительно ближе к их дну, чем это имеет место к такому же уровню (от центра земли) для суши, должны лежать тяжелые массивные породы и магмы. Здесь должны собираться породы и магмы удельного веса, близкого к 3–3,3 – базальтовые, перидотитовые или эклогитовые породы.

Эти породы здесь поднимаются на несколько километров ближе к уровню океана, чем под континентами. Мы наблюдаем здесь явление, аналогичное тому, что дает изучение глубин океана (§ 79), ибо, очевидно, такое расположение тяжелых основных, т.е. более бедных кремнием, пород и магм должно наблюдаться для всего «водного» полушария (§ 78).

Диссимметрия, резко выраженная на поверхности до глубины в 3,8 км, проявляется еще на несколько километров в глубь и замирает на глубине 60 км, на уровне изостатической поверхности.

Схема явления может быть выражена в следующем виде (здесь приняты во внимание и другие явления, о которых говорится ниже):



87. Эти выводы получили неожиданное подтверждение из эмпирических наблюдений, сделанных совершенно независимо.

Изучение Вашингтоном и Кларком среднего химического состава изверженных – массивных – пород океанических островов Тихого океана, в первую голову, и сравнение этого состава с средним составом таких же пород материков (например «огненного кольца» вулканов Тихого океана) явно указало на особый более основной характер островных пород. Магма, доступная

¹ Эри подошел к современным представлениям ближе, чем Пратт. Он основывался на наблюдениях Пратта.

в этих местах нашему наблюдению, на современном уровне земной поверхности отвечает как раз тяжелым, более бедным кремнием и калием и более богатым железом и магнием, основным породам, чем та магма, которая на том же уровне доступна наблюдению на материках. На всем протяжении Тихого океана на его островах вулканы дают особые базальты – океаниты – с 1–2% щелочных лав – трахитов и т.п. (Вашингтон, 1929). Нигде не наблюдается здесь ни кислых массивных гранитного типа пород, ни кристаллических сланцев и гнейсов (Лакруа, 1927).

Приходится допустить, что таких пород под океаническими бассейнами в главной их части нет и что основные тяжелые породы ближе к их дну, чем к поверхности суши.

Они своим присутствием компенсируют влияние огромных скоплений удельно легкой природной воды в гравитационных процессах.

88. Эта гравитационно резко проявляющаяся диссимметрия может иметь и другое выражение.

Давление, которое непрерывно увеличивается в планете по мере приближения к ее центру и которое является единственным характерным ее свойством, всегда и неизменно идущим в *одну сторону*, – резко различно меняется в водном и в континентальном полушариях. В гидросфере оно увеличивается вполне равномерно, математически точно, при средней глубине достигая примерно 380 атм., а в самых глубоких ее точках превышая 1000 атм. На суше его увеличение идет совершенно другим темпом, в тесной зависимости от удельного веса строящих ее пород. При этом уже на уровне средней глубины океана оно превышает максимальное давление, возможное в гидросфере. А на уровне максимального давления в гидросфере на суше оно достигает почти 3000 атм. Кроме того в разных местах литосферы оно имеет разный темп и разную величину, меняясь резкими скачками.

Огромное значение, которое имеет давление во всех свойствах земных глубин, ярко выявляет диссимметрию планеты, связанную с распределением природных вод.

89. Совершенно другое явление, ничем не связанное с материально-различной средой, строящей земную кору под сушей и под океаном, приводит нас к тому же заключению – о диссимметрии подстилающих участков коры в обоих случаях и о чрезвычайной устойчивости такой диссимметрии.

Это явление связано с резко различной температурой одних и тех же уровней в океане и на суше. Так, в океане на глубине 3800 м (т.е. на средней их глубине) температура близка к 0°. Под сушей на той же глубине мы должны встретить температуру, превышающую 100°, близкую к 115°. В то время как в океане на этом уровне собирается вода, близкая к точке замерзания – к твердой фазе чистой воды, – под сушей на том же уровне устойчивые пары воды близки к точке кипения такой же чистой воды.

Настоящего объяснения холодному состоянию океанических глубин мы не имеем. Часто принимают во внимание – как одно из возможных – объяснение Цеппритца: вековым путем установившееся скопление наиболее удельно тяжелой воды, т.е. воды максимально холодной, на дне. В конце концов, по этому представлению, это вода, пришедшая с земной поверхности, с холодных частей океана, близких к полюсам холода. Можно, однако, принять во внимание другую возможность: резко отличное радиоактивное нагревание

массы моря и суши: океан заключает по весу значительно меньше распадающихся и нагревающих его атомов, чем суша – в сотни раз меньше калия, во многие тысячи (если не десятки тысяч) раз меньше радия и т.д. Температура его должна быть низкая, особенно если древность его очень велика.

Как бы то ни было, опускаясь ниже уровня океана и двигаясь к центру планеты, какое-нибудь тело попадает в среднем во все более и более холодные области, пока не достигает океанического дна; опускаясь в том же направлении в вещество суши, тело проходит слои все более теплые, – в первом случае оно подходит к термической области льда, во втором – заходит в область водяного пара.

Мы не знаем, как глубоко идет такая диссимметрия в распределении температуры. Взаимное соприкосновение двух столь различных масс вещества, при резком преобладании холодной массы, не может быть безразличным.

Нельзя забывать, что представление о близости ко дну океана полурасплавленной основной магмы (§ 98) – жидких или вязких масс – основано не на фактическом наблюдении, а на гипотетических предположениях и косвенных экстраполяциях (теория Вегенера).

С тем же правом можно высказать предположение о том, что холодное поле, выражением которого являются морские пучины, заходит ниже за его дно. Так как и здесь мы имеем явление, сложившееся в геологическое время, охлаждение твердых масс под дном океана на десятки градусов по сравнению с температурой суши того же уровня от центра может проникать на километры – и больше? – от уровня морского дна. В то же время и вызываемое радиоактивностью основных пород морского дна нагревание должно идти более медленным темпом, чем нагревание суши – ее кислых пород – на том же уровне от земной поверхности.

90. Из этих точно констатированных фактов выясняется чрезвычайно резкая диссимметрия в строении верхних геосфер земной коры, связанная с водой и особенно ярко выраженная в той части планеты, о строении которой наши знания особенно точны.

Вся история природной воды определяется таким резко различным геологическим строением океанов и суши.

Прежде всего чрезвычайно с этой точки зрения важно, что под океаническими глубинами должны отсутствовать земные слои, играющие огромную роль в истории воды и суши.

Большее приближение к океаническому дну основных массивных пород не оставляет места не только осадочным и метаморфическим породам, но и тем породам, которые характеризуют состав тех верхних 16–20 км земной коры, которые, следуя Ф. Кларку, всюду нами принимаются во внимание. Под большие глубины океана подходит базальтическая оболочка (ср. I, § 30), которая от поверхности суши отделена рядом геосфер.

Эти геосферы не должны быть выражены под океаном так, как они выражены под сушей. Под дном океана – его глубоких частей – должна отсутствовать стратисфера (осадочные породы) и происшедшие из нее породы метаморфические; гранитные породы и ортогнейсы должны сходить на нет или же быть мало развитыми.

91. Очевидно отсюда, что режим подземных вод под океаном должен быть совсем иной, чем под сушей. Огромное количество фреатических (восходящих) вод и их выходов – минеральных источников – должно отсутствовать под океанами. Отсутствие под ними гранитных массивов должно резко менять все химические процессы и весь химический состав водных растворов.

Под океанами могут находиться особые ювенильные и фреатические воды, и, выходя на его дно, они вероятно имеют состав, едва ли сейчас отражающийся в известных нам на суше химических их разностях.

Воды пластовые, целые серии которых одна над другой (до 15 и больше) мы встречаем в разрезе суши, здесь отсутствуют, со всеми их последствиями, с неисчислимыми химическими процессами, которые связаны с их нахождением.

Таким образом ясно, что диссимметрия строения земной коры неизбежно должна резко сказываться в *диссимметрии истории природной воды*.

92. Под океаническими бассейнами пластовые воды могут встречаться только в их участках, связанных с континентами, в приконтинентальных морях, например, в таких морях, как Северный ледовитый океан (§ 79).

В этих областях, вероятно, существует строение земной коры, которое по отношению к истории воды идентично со строением суши.

В этих областях возможны и пластовые воды и минеральные источники.

Это вытекающее логически из теории изостазиса отсутствие ряда подземных вод, нам известных на суше, в огромных участках океана, под океаническими глубинами, вскрывает любопытную черту в механизме геологического равновесия биосферы.

В обмене вещества суши и океана создание осадочных пород играет большую роль, так как в грязевой воде исходных для них водных осадков возвращается из океана на сушу значительная часть солей океанической воды. Раз осадочные породы образуются только из морских (§ 108), а не океанических осадков, – до суши не доходят химические элементы, проникающие в глубоководные части океанов снизу, кроме тех из них, которые растворены в океанической воде.

Мы увидим, что состав и океанической и морской воды один и тот же, отличаясь лишь концентрацией.

Следовательно, через нее эти элементы из океана могут попасть на сушу через морские осадки, дающие начало осадочным породам.

Элементы, остающиеся в океаническом илу, на сушу не попадают.

Состав *этих* грязевых вод не изучен и может отличаться от состава илов морской воды.

93. Из такого строения Земли может быть сделан вывод огромного значения для понимания ее истории, в частности истории всех ее минералов. Он был дан в 1924 г. оригинальным натуралистом Д. Джоли в Дублине.

Радиоактивность кислых более легких массивных пород, подстилающих сушу, в несколько раз больше радиоактивности тяжелых основных пород, подходящих к дну океана. Количество урана, тория, радия в рассеянном состоянии – в первых в несколько раз, может быть, больше чем в 10 раз – превышает их количество в породах основных.

В связи с этим гранитные кислые породы выделяют (учитывая и калий) в год в среднем $15,9 \cdot 10^{-6}$ кал/г, а базальтовые $3,9 \cdot 10^{-6}$ кал/г (Холмс и Лоусон)¹.

Как ни малы нам кажутся эти цифры, они в геологическое время, исчисляемое сотнями миллионов (1,5–2 млрд) лет, должны производить огромные эффекты, так как процесс безостановочно идет в одну сторону – постоянно выделяется тепло, и постоянно разница в температуре все более и более растет между участками земной коры под сушей и под океанами.

В определенных интервалах температур оно приводит к огромным механическим эффектам, в тесной связи со свойствами воды (ее точкой кипения) и силикатов и алюмосиликатов (их точек плавления).

Диссимметрия такого типа резко сказывается в движениях земной коры и, как правильно указали Джоли, Холмс и другие геологи и геофизики, шедшие по указанному Джоли пути, может представиться нам в самых грандиозных геологических процессах – в тектонических движениях земной коры и в усилении их темпа в определенные геологические периоды, на значение которых для истории природной воды я указывал уже раньше (§ 67).

Помимо этих геологических эффектов и сейчас под сушей идет выделение тепла гораздо более быстрым темпом, чем под океаном. Массивы континентов более нагреваются; это явление еще более усиливается благодаря тому, что в воде океана количество радиоактивных элементов в сотни и в тысячи раз меньше их количества в породах, строящих земную кору под континентами, на одном уровне с водой океана.

Химический состав океана в этом отношении очень плохо изучен, по-видимому, главным источником его нагревания должен являться калий.

94. Явления диссимметрии, тесно связанные, как мы видим, с характером материи, строящей область нахождения природных вод, должны сказываться во всех земных оболочках, где находятся изучаемые нами природные воды.

Говоря об истории природных вод, мы всюду должны принимать различные явления над и под сушей от явлений над и под гидросферой.

Что диссимметрия проявляется выше гидросферы, в атмосфере, – видно, например, из истории водяных ионов, – их в несколько раз меньше над океаном, чем над сушей, так как источник их образования, радиоактивные вещества, в тысячи, вернее в десятки тысяч, раз менее распространены в веществе океана, чем в веществе поверхности суши. Пыль, их несущая, стоит над сушей, а не над океаном.

95. Еще резче диссимметрия по сравнению с поверхностными водами. Морская, океаническая вода имеет химический состав, не повторяемый в водах суши. Живое население воды океана и вод суши совершенно иное. Продукты химии моря и химии суши, всегда связанные с жизнью, резко иные: углерод живого вещества выделяется в морском круговороте главным образом в виде карбонатов кальция – известняков; в воде, связанной с сушей, идет его выделение в виде углеводородов (нефти) или углей и битумов и т.п.²

¹ Эти числа требуют больших поправок. Величины для кислых и основных пород отвечают только первому приближению. Поправки, внесенные В. Мультгофом (Muhlhoff, 1930), значительно уменьшают тепловой эффект атомов калия.

² Для нефтей возможно происхождение в прибрежных солоноватых морских осадках.

В водном полушарии Земли собрана в одном месте в виде единой массы соленая вода чрезвычайно своеобразного состава с весовым преобладанием в убывающем порядке: Na, Cl (скачок), Mg, S (ион SO_4^{2-}), Ca, K, Br, C, N (скачок), Si... концентрации 3,2–3,7%. Если бы эту массу воды распространить на всю поверхность планеты, – она бы образовала сплошной слой примерно в 2700 м мощностью.

В континентальном полушарии почти половина его поверхности совершенно лишена такой воды; она облекает лишь другую ее половину. Там, где этой океанической воды нет, мы имеем на поверхности *воду пресную* в озерах, реках, грунтовых и пластовых водах; глубже – в пластовых водах они переходят *в воду соленую* – в общих чертах параллельно с глубиной – и в конце концов соленая вода на глубинах переходит в *рассолы*. Эти континентальные воды непрерывно прерываются в своем распределении в биосфере и в стратисфере водами, идущими снизу, под влиянием гидростатического, гравитационного и газового давления, с глубин до нескольких километров – водами пресными, солеными и рассолами. Учитывая все воды суши, можно уже сейчас установить, что с *глубиной* масса рассолов увеличивается, а пресные воды сходят на нет.

Распределение химических элементов здесь иное, чем в океане.

Для пресных вод земной поверхности:

Реки: O, Cl, Na, S, Ga, Si, C, Mg, Fe, K, N...

Озера: O, Na, C, Cl, Ca, Mg, S, K, Si, N, Fe...

Верховодка (родники): O, Ca, Cl, S, C, Na, Mg, K, Si, H, Al...

Никакого резкого скачка в количестве отдельных элементов нет. Минимальные количества ионных компонентов для озер $6,0 \cdot 10^{-5}$, для рек $6,2 \cdot 10^{-4}$, для верховодки (родниковых) вод – $1,2 \cdot 10^{-3}\%$.

Книзу, в пластовых водах стратисферы, непосредственно теснейшим образом связанных с водами пресными, можно заметить чрезвычайно своеобразные изменения. Здесь я отмечу лишь, что одно время резко увеличивается углерод (CO_2 и ион CO_3^{2-}), затем с глубиной, по-видимому, сперва уменьшаясь, исчезает ион SO_4^{2-} и увеличивается H_2S и ион HS^{1-} . Ca начинает преобладать над Na, и в то же время из катионов – кроме HS и отчасти HCO_3^{1-} – преобладает Cl. Наконец начинает выступать на видное место NH_3 и ион NH_4^{1+} .

Вода озер составляет около $2 \cdot 10^{-20}\%$ воды Океана (по Гальбфассу), такую же приблизительно массу составляют реки и пластовые воды. Значительная часть воды озер и пластовых вод, в меньшей степени рек, является соленой. Если мы распределим всю эту воду по всей поверхности планеты, она покроет ее слоем едва в 2 м мощностью, в 1350 раз меньше, чем толщина воды океана, так же развернутая.

Воды, поднимающиеся снизу, гораздо более разнообразны и, в общем, отличаются от обычных вод биосферы и стратисферы, – будут ли то воды пресные, соленые или рассольные. Масса тех из них, которые достигают биосферы – невелика.

Эта общая геохимическая картина ясно указывает на диссимметрию в истории природных вод, которая только увеличивается при детальном в нее углублении.

96. Ту же диссимметрию мы видим и в тепловом режиме поверхности биосферы.

Воздух над водной поверхностью океана более теплый, чем воздух над сушей; годовая температура поверхности моря в среднем на 3° теплее окружающего океан воздуха. Лучи солнца и тепловые и химические проникают на сушу не глубже, чем на 20 м в среднем. В океане, в воде, даже лучи светового спектра заметны на глубине в 200, даже до 400 м; тепловые и химические идут глубже до километра и больше. Суточные колебания температуры от солнечного нагревания не превышают в океане 0°, 5, – они достигают десятков градусов для суши.

Подавляющая масса водяных паров, дающая метеорные осадки, получается сушей с моря, с океана, тем более, что большая часть земной поверхности в тропической и подтропической областях покрыта океаническими водами. Здесь идет интенсивное парообразование.

В то же время испарение соленых вод, следовательно океана, значительно меньше испарения пресных, т.е. значительной части наземных вод суши.

97. Это – отдельные черты из множества других, которые указывают на диссимметрию самых разнообразных земных явлений, связанную с указанными формами распределения суши и моря.

Водное и континентальное полушария резко различны во всех основных физико-химических своих проявлениях.

Если мы примем во внимание разное распределение геосфер под этими полушариями, их резко различную температуру и особый уклад водного режима для этих полушарий, – можно утверждать, что две резко различных по составу, температуре, механическим и физическим свойствам системы находятся на нашей планете в неуклонном взаимодействии в течение геологического времени.

Диссимметрия такого распределения должна являться источником огромной свободной энергии, резко меняющей окружающую природу.

98. Эта свободная энергия проявляется не только на поверхности.

Под океаном явления идут резко иначе, чем под сушей.

Континенты упираются в базальтовую оболочку, а земные оболочки – стратифера, метаморфическая и гранитная – не существуют под океаном. Может быть, гранитная оболочка местами под ними существует, хотя и слабо выражена, как это принимают не без правдоподобия под Атлантическим океаном.

В конце концов и континенты и базальтическая оболочка под океанами переходят в основную стекловатую магму, может быть, неодинаковую по составу, так как граница изостазиса идет много глубже 16–20 км, в которые укладываются все наши представления о геосферах.

Едва ли правильны представления, сейчас нередко высказываемые, что континентальные массы «плавают» в расплавленной базальтовой оболочке. Для гранитной оболочки под сушей принимают максимум 13–15 км, едва ли на этой глубине гранит или базальт будут представлять расплавленную *полужидкую*, сильно вязкую магму. О жидкой магме не может быть и речи.

Во всяком случае низы континентальных масс механически и термически неоднородны с окружающей их базальтовой нагретой магмой, и допустимые их сдвиги по отношению друг к другу вероятно не очень значительны в геологическое время.

99. В связи с таким строением континентов и океанов возникают в XIX–XX вв. совершенно новые представления о географической картине современной земной поверхности. Согласно одному представлению, земная поверхность отражает различия в строении охватывающих всю или главную часть континентов земных масс, медленнодвигающихся через океаны в полувязком веществе базальтической оболочки (теория А. Вегенера). Причина движения не только не ясна, но и не формулирована.

Другое решение связано с разломами земной коры, охватывающими массы земной коры без какого бы то ни было соотношения с распределением суши и моря. Море и суша могут в этих условиях перемещаться в любой точке земной коры без всякого соотношения со строением подстилающих их земных слоев. Причиной таких движений сперва предполагалось сжатие земли, вследствие ее геологически длительного охлаждения. Возможно, что причиной являются процессы, связанные с радиоактивными распадами элементов (теория Д. Джолли). В этом последнем случае современное распределение суши и океанов, тесно связанное с диссимметрией в распределении радиоактивных элементов, должно находиться в связи с движениями земной коры. Они так или иначе должны быть приноровлены к платформам современной суши и к впадинам современных океанов. В иных представлениях никакие соображения о современной географической диссимметрии биосферы не стесняют гипотетическую научную мысль. Многочисленные гипотетические представления этого рода переполняют всю историю геологии и еще недавно всецело в ней царили, приведя в конце прошлого века к научному синтезу Э. Зюсса, а еще раньше, в середине века, – к научной гипотезе Эли де Бомона.

Наконец, третье решение, впервые, высказанное в 1846 г. американским минералогом и геологом Д.Д. Дэна, считает, что в основных чертах океаны и континенты находятся неизменно на месте; континенты окружены широкой полосой, которая благодаря разнообразным движениям земной коры становится то морями, то сушей. Возможная причина этого эмпирически выведенного обобщения тогда не могла возникнуть, и лишь теперь для нее в распределении радиоактивных элементов и в связи с идеями о генезисе Луны получаются некоторые наведения. Из распределения радиоактивных элементов следует тесная зависимость дислокаций с пограничными областями континентов и, как ее следствие, большая устойчивость центральных частей суши¹. Из теории происхождения Луны вытекает обобщение Дэна во всей его полноте.

100. Я могу здесь коснуться этих вопросов, сильно волнующих геологическую мысль в наше время, очень кратко, поскольку это необходимо при изучении истории природных вод. Необходимо учесть еще следующее. Несомненным представляется, что в течение геологического времени менялись *климаты отдельных местностей*; так, например, в области Гренландии (где сейчас находится полюс холода) еще десятка два миллиона лет тому назад, в миоцене, жила подтропическая флора.

¹ Нельзя забывать, что области ограничения суши и моря – в связи с радиоактивным характером воды и горных пород – являются областями стыка теплых и холодных масс вещества, быстро и медленно непрерывно испускающих тепло. Это области явно неустойчивые.

Но можно утверждать, что климат Земли, в целом, не менялся за все геологическое время, т.е. за 1,5–2 млрд лет: основные черты его были те же, что и теперь – та же была космическая среда жизни, и те же были процессы выветривания.

Можно сейчас с большой утвердительностью говорить и о характере этих изменений климата геологического порядка; зональность климата все время существовала (§ 75), и как бы перемещался на поверхности планеты полюс этой зональности (§ 76). Это явление было в 1923 г. подчеркнуто А. Вегенером и В. Кеппеном, которые относили его к астрономическим полюсам планеты и говорили о перемещении оси земли в течение геологического времени.

В течение всего геологического времени на Земле непрерывно существовал следующий механизм: экваториальный дождливый пояс, два сухих пояса, два дождливых пояса умеренных широт и две более или менее оледенелые шапки у климатических полюсов. Эти полюса лежали все время, по-видимому, в области не очень далекой (§ 76) от астрономических полюсов.

Форма и размеры поясов все время менялись и перемещались в очень значительной степени на земной поверхности.

101. По-видимому, верным остается и положение, что во все геологические эпохи выдерживалось отношение между сушей и океанами, не очень резко отличное от современного. Геологические научно точно установленные факты указывают, что суши и море существовали во все геологические эпохи.

Правда, геологи различают (в изученной геологически части планеты) геологические эпохи преобладания суши – так называемые теократические эпохи, и эпохи преобладания воды – талассократические эпохи. Но все же ясно, что в самые богатые сушей геологические периоды нельзя утверждать о ее преобладании над океаном ни в одном полушарии, и в соответствии с этим нет указания, чтобы талассократические и теократические периоды наблюдались одновременно в обоих полушариях.

Все заставляет думать, что мы имеем дело только с переливанием единой массы воды, связанным с тектоническими изменениями земной коры – поднятиями и опусканиями суши, не могущими вызвать коренного изменения отношения 1 : 2,4.

Можно только говорить о колебаниях вокруг этого числа. Пределы колебаний нам неизвестны, как непонятно и возможное постоянство этого числа (ср. § 80).

Выведенная путем сложного и трудного векового наблюдения геологов эта устойчивость соотношений между поверхностями суши и моря подтверждается всем эмпирическим материалом геохимии, указывающим на малую вероятность, если не на невозможность, коренного и геологически быстрого его изменения (Вернадский, 1924).

102. Мы встречаемся в дальнейшем углублении в эти явления с категорией фактов, в которых не установилась еще научная мысль. Противоположные научные представления здесь существуют одновременно. Мне кажется, это в значительной мере является следствием того, что до сих пор не вошло в общее сознание геологов эмпирическое обобщение, что *распределение океанов и суши является не палеогеографическим явлением, а связано с определенной структурой земной коры, идущей далеко вглубь, на многие километры, лежа-*

щей глубже большинства тектонических смещений. Современное распределение суши и океана связано с нижними пределами гранитной оболочки (т.е. может быть порядка 10–15 км и глубже). Ясно, что при таком понимании значительно понижается, по сравнению с современной оценкой, ценность зоологических и ботанических доказательств этих смещений, и увеличивается ценность геологических и геофизических.

Не вошла в сознание геологов также необходимость принимать во внимание историю Луны как геологическое явление, т.е. принимать во внимание отражение в геологической истории Земли ее образования из земной коры. Геологи с этим возможным или вероятным явлением обычно не считались, так как думали, что оно произошло в догеологическое время. Это положение сейчас как раз возбуждает сомнение (§ 83).

103. Большие изменения в распределении суши и океана в течение геологического времени несомненны, и они шли в обе стороны.

Эти изменения можно констатировать и в историческое время, но их полный эффект проявляется лишь в геологическое время.

Две категории явлений его устанавливают: 1) многочисленные фазы тектонических перемещений участков земной коры, неизбежно связанных с резким изменением современного лика земли; большая часть стратисферы состоит из морских отложений и 2) современное распределение видовых форм жизни (частью и прошлое, менее известное), требующее для своего объяснения совершенно иной картины суши и океана, чем существующая в настоящее время.

Построения океанов и суши в древние эпохи, исходящие из этих двух течений мысли, в общем плохо согласованы, а частью не могут быть согласованы при современном состоянии геологии. Особенно палеозоологические и палеоботанические заключения биологов ставят проблемы, представляющие большие затруднения, особенно увеличивающиеся вследствие уяснения глубины изменений, связанных с палеогеографией суши и моря.

Биологические данные, связанные с распределением животных и растительных форм в их значении для палеогеографических данных, требуют пересмотра и более тщательного анализа с учетом тех огромных промежутков времени, в которые жили эти организмы. Вопрос идет не о географическом эффекте в пределах одной геосферы – биосферы, а о геологическом явлении, захватывающем несколько геосфер. В очень многих случаях могут быть найдены другие объяснения для понимания прошлого распределения организованных тел – объяснения не геологического, а чисто биологического характера.

104. Как мы видели, четыре течения мысли связаны с объяснениями этих явлений: 1) теория Вегенера – горизонтального смещения континентов, 2) теория Дэна – постоянства географического места крупных океанических бассейнов и основной площади континентов, 3) теория тектонических перемещений земной коры, связанных с распределением радиоактивных, распадающихся химических элементов (теория Джоли) или же 4) с перемещением, связанным с геологически вековым изменением термического режима планеты, – теория геологов XIX столетия, которую глубоко продвинул Э. Зюсс в конце столетия.

Все эти четыре течения геологической мысли являются сейчас живыми, возбуждают исследования, вызывают проверку и очевидно в результате этой научной работы надо ждать объяснения явления.

Из них теории Вегенера, Джоли и Дэна (я буду под этими именами понимать различные их выражения, представителями которых являются названные ученые) связаны с очень большой прочностью в геологическом времени наблюдаемой диссимметрии в строении земной коры под нынешним океаном и под нынешней сушей.

И в теоретических представлениях Вегенера, а так же Дэна, наша суша и наш океан являются геологически неизменными, в общем, массами, строящими земную кору: может идти речь для главной массы их вещества об их перемещении, но не об их переходе друг в друга.

В теории Джоли, всецело основанной на резко различной, диссимметричной, картине распределения радия, калия и их аналогов как в воде океанов, так и в веществе основных и кислых массивных пород (и отвечающих им магм), современная картина водной и гравитационной структуры должна выдерживаться в основных чертах в течение всего геологического времени.

И только в теории Зюсса (и в многочисленных, частью от нее независимых и ей противоречащих представлениях – за последнее время Кобера, Штейнмана, Ога, Игеринга и др.) современное распределение суши и моря рассматривается как поверхностное явление, в корне свободно меняющееся в течение геологического времени. Океан и суша – поверхностные явления – появляются свободно и непрерывно в одном и том же географическом месте планеты многократно в течение геологического времени.

105. В настоящее время мы подошли в истории науки к такому моменту, когда могут быть поставлены и когда ставятся опыты и наблюдения, которые через несколько лет позволят точно научно решить вопрос. Некоторые из этих представлений отпадут или уменьшатся в своем значении.

Есть возможность решения и вопроса о существовании в лаврентьевскую эпоху кризиса в бытии нашей планеты – превращения ее в систему, аналогичную двойным звездам. Два явления выдвигаются на первое место: 1) существование отложений древнего археозоя с чрезвычайным преобладанием магматических пород в связи с некоторыми особенностями строения (так уже указанные Р. Швиннером – ср. § 83 – обычность анатексиса, перемешивание глубинных и поверхностных пород и т.п.), и 2) существование в архейской эре – в вертикальном разрезе – участков, не заключающих биогенных пород и слоя пород, связанных с биогенными процессами. Оба эти положения сейчас не доказаны, и первое, возможно, объяснится тем, что мы имеем здесь дело с глубинными частями метаморфической оболочки. Во всяком случае, вопрос может научно изучаться. Отрицательный ответ приведет лишь к отодвиганию генезиса Луны за пределы архейской эры.

С другой стороны, необходимо выяснить и помимо решения вопроса хронологического, насколько вообще количественно достаточна эта причина для объяснения существования впадины Тихого океана и прилежащих к ней частей гидросферы.

106. Возможность научного подхода открывается и в одновременно существующих воззрениях об орогенезе земной коры.

Так теория Вегенера неизбежно вызывает смещение астрономических координат отдельных точек суши, определенным образом связанных с движением континентов.

Астрономические наблюдения, с этим связанные, начали обращать на себя внимание, и первые результаты не являются неблагоприятными для теории (А. Бегенер, 1929 – оценивает их даже выше), и очевидно вопрос будет решен в ближайшие годы, как только будет увеличена сеть и точность наблюдений. Конечно, могут открыться смещения континентов, независимые от тех передвижений, которые предвидит Бегенер, но и в этом случае вопрос имеет все шансы быть решенным окончательно для той теории, которая сейчас существует.

Замечу, что эта теория стоит в согласии с очень многими биологическими фактами и, по мнению такого крупного геолога-тектоника, каким является Арган (Argand), с совокупностью современных представлений о создании в геологическое время тектоники континентов.

Для интересующей нас проблемы она подтвердит как геологически неизменную диссимметрию в истории воды в земной коре – резкую разнородность ее, – так и неизменность наблюдаемого взаимодействия вод океанической и континентальных.

107. Точно так же сейчас вполне возможна проверка теории Джоли. Она пока основывается на числовых данных, недостаточно точных. Пока теория Джоли указывает только, что порядок тех тепловых величин, какие создаются радиоактивным распадом, как будто достаточен для получения всей совокупности тектонических смещений и их зависимости от распределения суши и моря и сосредоточения под океанами более основных пород, т.е. от современной диссимметрии строения земной коры.

Эта теория имеет все данные быть проверенной совершенно точно, как всякое физико-химическое явление.

Необходимо прежде всего – и эта работа начата – точное определение радиоактивных и геохимических постоянных горных пород и количественного учета лежащей в основе представлений Д. Джоли диссимметрии в распределении богатых свободной энергией земных атомов.

Эта работа, если она, как все указывает, подтвердит первые приближенные подсчеты, даст прочные основы представлению, что диссимметрия в истории природных вод есть явление неизменное в геологическом времени и вообще мало меняющееся с ходом времени. Современное состояние учения о радиоактивности не позволяет отбрасывать и представлений о медленном – длительном в течение нескольких геологических эпох – изменении, идущем в одну сторону (так допускает Джоли, принимая существование в геологическом времени исчезнувших на земле элементов).

108. Точно так же подходит к возможности научной проверки и теория Дэна.

Геологи, а также и сам Дэна, указывали, что среди осадочных пород стратиферы нет пород глубинного происхождения. Это стало возможным утверждать, после экспедиции Челленджера. Дальнейшие экспедиции (в частности А. Агассица) привели к более точному утверждению этого положения.

Оно является логическим следствием из теории постоянства океанов и континентов и совершенно необъяснимо теориями Зюсса и др. Так как этот вопрос в строении осадочных пород не обращал достаточного внимания, был мало разработан, можно было оставлять это противоречие без внимания.

Но сейчас, с одной стороны, развитие изучения осадочных пород, а с другой, то возбуждение мысли, которое внесено в геологию теориями Вегенера, Джели и ростом тектонических представлений, выдвинуло на первую очередь решение этого вопроса.

В частности, в последнее время начинает высказываться стремление приписать глубоководное происхождение некоторым породам, которые раньше таковыми не считались. Среди них «абисситами», т.е. глубоководными породами признаются некоторые довольно широко распространенные породы – например, верхне-юрские радиоляриты альпийско-аппенинской геосинклинали. Эти радиоляриты, вслед за Венером (Wöhner), были выдвинуты, как глубоководные осадки, в последнее время Штейнманом (1913–1925). Вопрос не может считаться до сих пор выясненным. Породы эти и условия их нахождения требуют более тщательного изучения. Одновременно существуют – и также хорошо укладываются в них факты – представления, придающие этим породам более мелководное происхождение и даже связывающие их генезис с эруптивами.

Но даже если бы все эти указания были верны, они одни не могут изменить общую картину явления. Эти породы занимают ничтожную часть строения суши и в лучшем случае могут указывать на то, что существуют какие-то явления, не принятые во внимание¹.

Во всяком случае вопрос поставлен, и, очевидно, его разрешение есть вопрос недолгого времени.

К нему можно и должно подойти и другим путем, так как волосные воды (§ 60) этих пород, если они глубоководны, должны быть особенные, нам до сих пор неизвестные.

По-видимому, будет уточнено и войдет в сознание натуралистов или отсутствие в стратиферии остатков глубинных пород или их редкость – в предельном случае их связь с геосинклиналями (А. Кобер).

Очевидно то значение, какое будет иметь для понимания диссимметрии в истории природных вод определенное решение этого вопроса.

109. Необходимо поставить на более точную почву и оценку правильности теорий чисто геологических, противоположных теории Дэна. В XIX столетии можно было пытаться решать проблему распределения суши и океана исключительно геологическим путем.

Очень ясно подчеркнул это еще в 1846 г. Дэна, высказывая свою гипотезу как единственную допустимую взамен другой, в то время господствовавшей. Он считал, что факты – геологические и связанные с ними биологические – позволяют в геологии существование временно двух представлений: и о неизменности положения главных масс океанов и континентов, и о их неограниченном чередовании в одном и том же географическом месте в течение геологического времени.

В нашем столетии выдвинулись новые явления, помимо чисто геологических и биологических, с которыми вынуждены считаться геологи в реше-

¹ Кобер в последнее время признавал правильность отсутствия глубоководных осадочных пород в строении суши, исключая из этого осадки геосинклинали. Он считал, что геосинклинали содержат глубоководные остатки. По его мнению, океаны в эпоху геосинклинали были иные, чем теперь. Это пока гипотеза, находящаяся в стадии логической и научной разработки.

нии этих явлений. С одной стороны, данные геофизики, получившие такое значение в теории Вегенера, с другой – явления радиоактивности, приведшие к теории Джоли.

В виду того, что эти явления приводят к воззрениям, противоречащим укоренившимся геологическим построениям, в литературе последнего времени отдельные геологи и биологи пытаются с ними совсем не считаться. В 1930 г. в годовом собрании Английского геологического общества его президент В. Грегори счел возможным отбросить негеологические явления в суждении об изменении Тихого океана в течение геологического времени. В 1925 г. не менее крупный ученый биолог, занимавшийся вопросами жизни в историческом и географическом аспекте, недавно умерший фон Игеринг, для Атлантического океана отбросил не только геофизические, но и все геологические – тектонические представления, на которых стоял Грегори. Причина одна: Грегори не мог согласовать с геологическими и биологическими построениями геофизические и радиохимические научные обобщения, а фон Игеринг не мог сделать того же с построениями геологическими для биологических фактов.

Очевидно – это путь безнадежный. Все геологические или биологические построения этого рода – и построения Грегори и фон Игеринга – повисли в воздухе, получили характер экстраполяции, так как они оказались примененными не к тому явлению, какое хотели объяснить.

И фон Игеринг и Грегори рассматривали явления океанов и суши с точки зрения палеогеографии.

Но корни его явно глубже. Они захватывают такие глубины земной коры, которые для чисто геологических (например, тектонических) исследований недоступны, они связаны с такими явлениями (история атомов, явления геохимические), которые также стоят вне области явлений геологических и явлений жизни в обычном их охвате.

Они лежат в основе этих явлений, которых ни биолог, ни геолог своими методами не касаются.

110. История природной воды как раз основывается на геохимических (и минералогических, с ними тесно связанных) фактах и эмпирических положениях.

Природные воды и по своей массе и по своей энергии занимают такое положение в земной коре, с результатами научного изучения которых не может не считаться теория земной коры.

С этой точки зрения следует отметить, что выяснившаяся эмпирически диссимметрия истории воды в океане и на суше может легко быть уложена в построении Дэна, Джоли, Вегенера и находится в противоречии с построениями Зюсса, Кобера или Грегори. Требуются большие изменения для того, чтобы вошли в них факты и эмпирические обобщения этой истории.

111. Я вернусь еще к этим вопросам ниже, здесь же считаю нужным отметить некоторые соображения геологического характера, которые надо принять во внимание при оценке вопроса о палеогеографии океанов на земной поверхности.

Все указывает на большую геологическую древность современной картины лика земли в ее основных чертах, в отношении суши и моря.

Соображения геохимические приводят к тому, что раз установившееся равновесие между бедными и богатыми источниками энергии, различными в этом отношении массами вещества, должно выдерживаться. Океан и основные породы, его подстилающие, бедны радием, ураном, торием, калием. Суша и подстилающие стратисферу и биосферу суши кислые массивные породы ими богаты. Нарушения могут вызываться только особыми явлениями, связанными с причинами, нам доселе неизвестными, вызывающими распределение химических элементов в нашей планете, лежащими вероятнее всего, с точки зрения нашего современного знания, за пределами геологического времени.

В геологические стадии истории Земли должны существовать одновременно и суша, и океан, и явления жизни. Ибо отсутствие какого-нибудь из этих факторов должно резко отразиться на минералогическом составе нашей планеты, неизменном однако с археозоя, т.е. с начала архейской эры по крайней мере.

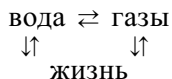
В основе лежит химический элементарный состав, т.е. состав атомов, в геологическое время почти неизменный. Взаимные соотношения указывают на существование механизма, устойчивого в течение геологического времени.

Все эти общие положения требуют такой устойчивости географической карты, которая не принимается во внимание теориями Зюсса, Кобера, поскольку дело идет о соотношении моря и суши¹.

2. Природная вода и живое вещество

Вода и жизнь

112. Равновесие: вода \rightleftharpoons жизнь – одно из самых характерных проявлений в биосфере основного равновесия природной воды, вода \rightleftharpoons газы, в форме:



Вода без жизни в *биосфере* неизвестна; ничтожные по весу такие ее нахождения являются редкими – временными – минералами; таковы воды, богатые свободной серной или соляной кислотой вулканов, может быть некоторые рассолы – и только.

Как в последнее время развил А. Гендерсон (1913–1917), вода среди всех соединений химии – природных и искусственных – стоит резко отдельно по всем тем ее свойствам, которые являются необходимыми для жизни. Ни одно соединение не приближается к ней в этом отношении заметным обра-

¹ Нельзя не отметить еще одного вывода из постоянства океанических впадин – устойчивость того трения, какое вносится во вращение Земли приливами и отливами. Как известно, трение, с общей точки зрения, больше в мелких больших бассейнах, чем в глубоких областях океана. Сейчас наибольшее сопротивление вносится в движение планеты в морской мелководной области около Берингова пролива. Устойчивость океанических глубин в течение геологического времени определяет устойчивость в этом времени того малого эффекта, который производится приливами и отливами.

зом даже в величине и в характере какого-нибудь отдельного своего свойства, не говоря уже об их одновременном сосуществовании. Природная вода как бы предназначена для жизни, и с жизнью связана она одна из всех химических соединений.

Эта тесная связь воды с жизнью и ее исключительное распространение в земной коре, резко отличающее ее от всех минералов, не может быть игрою случая: оно указывает на закономерность явления, на определенную *организованность земной коры*. Вода и живое вещество – генетически связанные части этой организованности.

Вода может существовать и постоянно образуется в земной коре вне участия жизни, но тесно связанная с ней жизнь без воды существовать не может. Это вызвало представление (Гендерсон) о появлении воды в земной коре *раньше* появления жизни, о подготовке этим путем нашей планеты к появлению живого вещества, того механизма, который таким резким образом меняет всю ее историю.

113. Здесь мы выходим за пределы точного знания, т.е. возможности поставить проблему в такие условия, которые бы допустили проверку ее научным опытом и научным наблюдением.

Мы можем сейчас, по-видимому, лишь ставя проблему о начале жизни, говорить о начале *всей биосферы* (§ 84) – целиком. Дальше пока идти не можем.

В течение всего или почти всего геологического времени, по крайней мере с середины архейской эры, мы всегда наблюдаем одновременно и воду и живое вещество и всегда видим их неизменную тесную связь и взаимное огромное влияние. Их история в земной коре неразделима.

Точно так же выходит за пределы точного знания очень распространенное среди натуралистов и в популярной литературе представление, что было время, когда растительная и животная жизнь наблюдались только в воде, только в гидросфере. Здесь мы встречаемся с отголосками старинных религиозных и натурфилософских построений, которые на первый взгляд как будто отвечали некоторым категориям научных фактов. Самый поверхностный анализ достаточен для того, чтобы рассеять это кажущееся совпадение.

На всем протяжении геологической истории мы наблюдаем теснейшую связь воды и жизни как в водной среде, так и на суше.

По-видимому, это – одна из основных черт организованности биосферы.

Вода в организмах

114. Все организмы – и водные и наземные – представляют полужидкие, иногда *жидкие* водные коллоидные системы с резким преобладанием химически свободной или полусвободной жидкой воды. Совершенно правильно с этой точки зрения определяет их (и человека) французский зоолог Р. Дюбуа как «оживленную» или «одухотворенную воду» – «l'eau animée».

Но в их строении по отношению к воде есть глубокие различия. Все они требуют для жизни больших количеств воды. Для водных организмов ее нахождение обеспечено.

Среди наземных организмов, геохимически наиболее важной части живого вещества, среди зеленых растений – одни выработали совершенно определенную систему приспособлений, обеспечивающих им приток и со-

хранение воды в сухой среде во время колебаний влаги в окружающем воздухе и в почве. Другие приобретают способность латентной жизни при недостатке воды.

Водные организмы и организмы очень сырых и влажных местностей содержат по весу более 90 и даже более 99,7% воды. Если исчислить ее состав отношением количества атомов, входящих в молекулы воды, к количеству атомов, строящих живой организм и находящихся вне молекул воды, то число атомов воды в предельных случаях должно подняться до 99,8 и вероятно 99,9%, и едва ли оно будет опускаться до 70% (ср. § 7).

Организмы суши обычно не дают таких больших чисел, однако для травянистой растительности процент воды подымается выше 85 – и спускается в крупных млекопитающих к 60%. Лишь семена и споры дают гораздо меньшие числа – содержат от 7–15% воды по весу, но эти формы живых организмов лишены того физико-химического влияния на окружающую их среду, которое характерно для жизни. Это – жизнь в латентном состоянии, не проявляющая в биосфере газового обмена и размножения.

Эта вода, содержащаяся в организмах, постоянно из них уходит (в газообразной или жидкой фазе) и постоянно в них входит – во всех трех своих состояниях.

115. Такая охваченная жизнью, сосредоточенная в живых организмах, но непрерывно связанная с окружающей жидкой или газообразной водой вода организмов в каждый данный момент составляет в биосфере огромные массы в 10^{18} – 10^{19} г, близкие к квадрильонам тонн.

Эта вода находится все время в движении, и в течение года через живое вещество проходят количества воды в сотни, может быть, тысячи раз больше его веса.

Поистине силами жизни в течение года передвигаются массы воды в биосфере, составляющие очень заметные доли массы земной коры (мощностью в 20 км) и океана. Они доходят до сотых долей процента веса земной коры, может быть десятых долей процента океана. В немногие сотни лет, может быть даже меньше, через живое вещество проходят массы воды, превышающие вес Всемирного океана.

Нельзя забывать, что живое вещество образует почти сплошной покров в биосфере, так что можно говорить о *воде организмов* как о своеобразной земной оболочке, особой водной оболочке (ср. § 45).

116. Все организмы теснейшим образом непрерывно материально связаны между собою; они представляют единое живое вещество. Столь же тесно и непрерывно связаны они с природной водой.

Без воды, в абсолютно сухом, т.е. лишенном воды в какой-нибудь форме пространстве они существовать не могут.

Они могут потерять, не погибая, только известный, очень незначительный процент по весу своей воды. Некоторые организмы могут потерять большую часть воды, но в таком случае переходят в латентное состояние, теряют способность дыхания и размножения (мелкие животные Tardigrada, многие обитатели высыхающих луж или некоторые растения пустынь). Это явление общее для всех тел биосферы. Оно принимает для живых форм особое выражение, так как эти тела представляют самодовлеющие образования, способные автономно приспособлять свой состав к составу среды.

Нигде на земной поверхности нет «абсолютно» сухих тел, т.е. тел, не содержащих физически связанной воды, – ни в биосфере, ни в живом веществе.

В самых «сухих» местах выживающие там организмы умеют удерживать и извлекать воду. Во многом это явление неясно, и требует внимания вывод, который делался давно Д. Ливингсоном, о синтезе воды в организме насекомых (муравьев), свободно живущих в сухих местах в эпохи многолетних засух. Такие подвижные формы, как насекомые, всегда богаты водою.

117. Вода в организмах содержится обычно в жидкой и в газообразной фазе.

Особенное значение имеет жидкая вода, которая по весу является резко преобладающей. Газообразная вода входит в состав заполняющего организма воздуха, который обычно насыщен водой. Связь его с наружным воздухом сложная, и упругость пара в нем сложным путем зависит от упругости пара в окружающей организм среде. Особенно резко это видно в водных организмах, которые содержат газовые полости, выполненные газом, отличного от воздуха состава; например, плавательный пузырь рыб состоит – в определенных случаях и для определенных видов – из газа, из которого преобладает кислород. Очевидно, водные массы организма, находящиеся с ним в соприкосновении, имеют особый газовый состав. Обычно в газовых полостях организма играет преобладающую роль углекислота. Не меньшую, если не большую роль играют в них водяные пары.

Жидкая вода организмов образует золи и гели, коллоидные растворы, частью – электролитические растворы. Химический солевой состав этих растворов очень определенный, резко иной для разных организмов. По принятой нами классификации эта вода будет *соленой водой*, состав которой, по-видимому, широко меняется для разных организмов. К сожалению, состав воды организмов, как состав самих организмов, плохо изучен.

Вода в некоторых организмах образует скопления, не связанные ни с плазмой, ни с водными соками растений или с жидкостями полостей животных. Таково выделение воды многих растений влажных тропических лесов. Это воды часто пресные, так как они бедны не только солями, но и органическими веществами.

Состав воды организмов пресных и соленых вод ближе друг к другу, чем состав вод – соленых и пресных – водоемов.

Состав воды многих (высших) сухопутных животных организмов напоминает состав морской воды, что вызвало ряд гипотез, очень распространенных одно время среди биологов (Ч. Дарвин, Г. Бунге и др.), о том, что состав этот отвечает составу того древнего океана, в котором жили будто бы предки этих сухопутных организмов.

При этом принимается, что состав воды океана менялся в течение геологического времени, на что у нас нет никаких точных указаний.

Конечно, вопрос не может считаться решенным; необходимы новые анализы и жидкостей организмов и точное выяснение изменения состава океанической воды в геологическом времени. Пока же можно утверждать, что состав водных жидкостей современных организмов суши совершенно отличен от состава современных природных пресной и соленой воды – от вод речной, озерной или морской.

Основной субстрат жизни – протоплазма – является водным коллоидальным телом определенного химического состава. Едва ли может быть сомнение, что состав этот различен для разных организмов. К сожалению, мы не имеем, насколько я знаю, ни одного полного химического анализа какой-нибудь протоплазмы и состава ее воды.

Вопрос настоятельно требует точного изучения¹.

118. Уже огромные количества воды, непрерывно заключенной в организмах, имеют большое значение в истории природных вод. Особенно это ярко сказывается в водах суши, где вода всего живого вещества (10^{18} – 10^{19} г – § 115) составляет тысячные доли всей воды суши, десятые доли процента. Для всей биосферы (включая Всемирный океан) эта вода будет представлять массы $n \cdot 10^{-3}$, $n \cdot 10^{-4}\%$.

Эти массы получают еще более реальное значение, если взять годовой круговорот воды живого вещества (§ 115). Часть воды непрерывно уходит, другая того же порядка входит в организм, – обе в жидком и газообразном состояниях.

Тот «вихрь элементов», который характеризует живое вещество, вызываемая жизнью биогенная миграция атомов, в подавляющей части состоит из миграций атомов воды.

Важна еще и другая сторона химической работы живого вещества в истории природной воды. Живые организмы не только способствуют миграции ее атомов – они вызывают синтез воды и ее разложение.

Их роль в синтезе воды и в ее разложении совершенно неправильно обычно не учитывается. Это видно хотя бы потому, что свободный кислород, значение которого так велико и в истории планеты и в частности всех ее минералов, образуется жизнью путем разложения углекислоты и воды.

Я вернусь ниже (§ 320) к этой роли живого вещества.

Теперь же остановимся на значении живого вещества в миграции молекул воды.

Процессы идут различно в гидросфере и на суше. Ярko проявляется диссимметрия земной коры.

Роль организмов гидросферы в истории воды

119. Едва ли можно преувеличить нашей современной оценкой реальное значение создания и существования живого вещества в истории природной воды. Дальнейшее изучение скорее увеличит то представление, какое нам ныне вырисовывается, а не уменьшит его.

Вся история воды меняется этим фактором, само существование которого вызывается ею же.

Отношение между жизнью и непосредственно с ней связанной водой определяет весь химический характер тропосферы, гидросферы и коры выветривания, в том числе и находящейся в них воды.

¹ Приводятся большей частью старинные и неполные анализы миксомицетов (например, Рейнке и Родевальда), как анализ протоплазмы. Это, очевидно, неверно, так как эти организмы богаты выделениями CaCO_3 , в протоплазму не входящими. Анализа амёб, например, нет. Это объект уже более чистый. Нет и полного анализа клеток (например, таких, как белые кровяные шарики).

Механизм этого влияния совершенно иной для жизни в океане и для жизни на суше, в этом проявляется основная черта земной коры – диссимметрия ее строения (§ 74 и сл.).

Поэтому, хотя главная масса жизни и сосредоточена в океане, нельзя (без проверки) заключить, что изучение жизни в одной гидросфере дает нам достаточно ясное представление о значении всей жизни в истории природных вод. Все живые организмы, правда, теснейшим образом между собой связаны; но связь эта сложная, и изучение одной части не может дать понятия о целом.

В истории воды на первом месте не стоит океаническая жизнь.

120. Жизнь моря очень мало отражается на испарении его водяных паров: она меняет газовый режим морской воды и вносит большие изменения в ее внутреннюю структуру. Она, очевидно, должна влиять и глубже, например, в создании кислорода из молекул воды, но это явление в данной обстановке не изучено¹. На равновесие: Океан \rightleftharpoons пары тропосферы морская жизнь влияет слабо.

Совершенно иначе относится к обмену водяных паров жизнь суши. Она разнообразными путями и очень резко меняет круговорот водяных паров тропосферы.

Существует своеобразный механизм: главная масса паров тропосферы получается из гидросферы (причем участие жизни в их вхождении в атмосферу ничтожное), но распределение их на суше в серьезной степени регулируется жизнью.

Жизнью суши создается в тропосфере – наряду с основным током водных молекул, вызываемым нагреванием Солнца, – меньший ток молекул, столь, однако, значительный, что он резко отражается на картине окружающей природы. Растительность суши – леса, степи, болота – являются основными его источниками.

Нельзя не отметить, что количество воды, захваченной в каждый данный момент и находящейся в живом веществе и очевидно являющейся исходной химической лабораторией организмов, соизмеримо с массой водяных паров, одновременно находящихся в тропосфере.

В ней находится количество воды порядка 10^{19} г, а вода живых организмов, всегда теснейшим образом связанных с тропосферой, – порядка 10^{18} – 10^{19} г, может быть больше².

Благодаря тому, что атмосфера облекает весь земной шар и, состоя из газа, чрезвычайно легко уравнивается в своем составе при всяком нарушении внешних условий, в которых она находится, всякое изменение в количестве и характере газов и паров воды, в ней производимое явлениями жизни, передается на всю планету.

На всю поэтому тропосферу – и на ее области над морем – передается изменение в режиме атмосферных водных паров, создаваемое растительностью суши.

¹ Нельзя забывать, что кислород создается зелеными организмами разложением молекул не только CO_2 , но и H_2O .

² Это число отвечает химически чистой воде – растворителю, который находится в организмах.

121. По отношению к водному режиму тропосферы, влияние морских организмов может идти благодаря изменению ими химического состава и режима газов океана и отражению этого явления на испарении морской воды.

Испарение морской воды не отвечает испарению пресной, а тем более химически чистой воды. Испарение меняется от физико-химических свойств воды, и это изменение далеко не изучено в достаточной степени. В зависимости от концентрации, испарение и прежде всего скорость его должны меняться. Неясно, однако, какие физические свойства воды при этом являются первой причиной изменения. Вязкость?

Под влиянием живых организмов меняется нередко не только химический состав, не только концентрация, но и коллоидальные и другие свойства воды. Поэтому желательны и необходимы наблюдения и опыты в этой области, которых почти нет.

Увеличение концентрации понижает скорость испарения – при равных условиях, т.е. ослабляет водный круговорот тропосферы. По старым наблюдениям Бабингтона (1858), по сравнению с пресной водой, это понижение достигает 5%, более новые данные Э. Мазелля повышают это число до 17,5%. Среднее лежит где-то между 5–17,5% (1898), по Крюммелю – между 9–30%.

Изменение концентрации, вносимое жизнью, связывается не только с общим уменьшением или увеличением твердого (солевого) остатка, но и с его качественным изменением. Можно наблюдать это явление, например, в тропических морях и в океанах, в областях концентрации жизни, например, около коралловых островов (уменьшение кальция) или во время цветения планктона (уменьшение фосфора или кремния). Явление требует количественного изучения.

122. Можно судить о другом влиянии морской жизни на водяной режим по косвенным наведениям.

Организмы моря участвуют в деле ряде основных процессов, которые связаны с водой тропосферы; они создают главную массу кислорода и основным образом регулируют режим углекислоты и аммиака.

Кислород получается ими путем разложения молекул воды и углекислоты, и временами в планктонной пленке океана и морен процесс его образования идет с такой интенсивностью, что вода «пересыщается» кислородом.

С другой стороны, углекислота в океанической воде – в соприкосновении с аммиаком, частью поступающим из атмосферы, частью создаваемым в связи с живым веществом моря, образует в морской воде сложные системы двууглекислых солей, лабильно связанные с водой. Отражение этих систем на режиме углекислоты тропосферы несомненно и, очевидно, оно не может быть безразлично и для ее водяных паров.

123. Однако едва ли можно сомневаться, что это отражение жизни в воздухе над океаном является с геохимической точки зрения процессом значительно меньшего значения, чем те изменения, какие океаническая жизнь производит в самой массе воды.

Основным процессом является водный круговорот:

морская вода \rightleftharpoons морские организмы.

Организмы проникают весь океан, сосредоточиваясь в нем в определенных поясах, образуя живые пленки и сгущения. Но вероятно главная масса

«одушевленной воды» находится в тех мельчайших центрах жизни, какими являются бактерии и которые проникают всю толщу океана. Если их количество в океане аналогично их количеству в реках, массы воды, заключенные в морских бактериях, будут сравнимы вообще с весом воды живого вещества¹. К сожалению, процент воды в морских бактериях неизвестен.

Основным для всех морских организмов без исключения является постоянный ток воды из организма в окружающую водную среду и из этой среды в организм.

Этот ток происходит частью биомеханически: организм *вызывает* движение в толще воды и проводит ее через свое тело; частью он связан с диффузией в разных формах. Организм проводит в свое тело и выводит воду из своего тела.

124. Морские организмы – в отличие от организмов суши, пресноводных и наземных – резко отличаются по характеру этого идущего в них водного обмена с окружающей средой. Их внутренняя вода изотонична с морской водой, т.е. обмен происходит свободно, и нет никаких препятствий и изменения состава, вызываемых явлением осмоса. Концентрация морского раствора при вхождении в организм не меняется. Морская вода проникает в такие организмы через «кожу», через их наружные покровы. Только коллоиды не проходят. Этим обуславливается изотоничность морской воды и жидкостей морских организмов. Только костистые рыбы и морские млекопитающие, а также водоросли представляют исключение с этой точки зрения.

Такой характер тока: морская вода \rightleftharpoons внутренняя вода морских животных вызывает даже гипотетические представления об изначальном по отношению к другим организмам существованию морской жизни; представляется, что это – колыбель жизни, откуда эволюционным процессом создались организмы суши (например, Гессе, 1924). Едва ли есть какие-нибудь основания для такого заключения: эмпирически мы видим здесь одно из частных проявлений гораздо более мощного процесса – извечной иной структуры земной коры в области гидросферы по сравнению с областью суши. Эта основная черта организованности земной коры сказывается и в частности – в данном случае в организме живого вещества гидросферы. Но она должна сказываться и в другой частности – в существовании особой структуры населения суши. Если бы его не было, менялись бы процессы выветривания, на что никаких указаний в геологических отложениях нет. Процессы выветривания были те же с археозоя; наземные организмы известны с палеозоя; предполагаемый перерыв нигде не проявляется.

Как уже указано, количества воды, проходящие через организмы моря, не могут быть даже приблизительно учтены: в течение года они в тысячи, а может быть в многие десятки тысяч раз больше должны превосходить все население океана.

125. Миграция химических элементов, связанная с таким перемещением масс воды, непрерывно идущая в океанической воде, производится жизнью. Это есть биогенная миграция.

¹ Принимая, что процент бактерий в море – того же порядка, что и в реках, т.е. порядка ионов пресной воды, или 10^{-5} – $10^{-7}\%$ по весу, мы получаем для бактерий океана вес 10^{17} – 10^{15} г.

Эффект ее сказывается на всей химии океана, ее определяет. Он выражается в бесчисленных химических процессах, нередко имеющих характер равновесий, и в более устойчивых, выходящих из равновесий телах – их твердых продуктах, вадозных минералах, часто богатых водою (гидратах – § 309 и сл.), которые образуются в результате этого влияния жизни. Эти образования совершенно иные, чем те, которые образовались бы – и которые образуются – из морской воды при безжизненных в ней идущих процессах. Так вместо галогидных и сульфатных солей, выпадающих из растворов одного состава с морской водой, идет образование карбонатов (главным образом кальция), опалов, гидратов окиси железа и т.п.

Этот жизненный ток определяет и состав морской воды, т.е. ту часть элементов, которая не захватывается на построение организма и не собирается в виде органогенных минералов. *Состав морской воды в конце концов определяется биогеохимическими процессами.* Исходным для него раствором является пресная вода рек, резко определяемая в свою очередь в своем составе биогеохимическими явлениями суши.

Вся химия моря изменена жизнью, и так как все реакции, в ней происходящие, идут в водных растворах, то, очевидно, основное значение имеет в них состав водных жидкостей живого вещества и его газовый режим.

Этот газовый режим живого вещества так мощен, что влияет на режим газов, растворенных в океане, и этим путем могущественно меняет все его свойства.

126. По отношению к воде чрезвычайно характерно, что в общем деятельность организмов в гидросфере приводит к ее химическому связыванию, к выводу значительных масс *воды* из жидкого состояния.

Под влиянием жизни ненасыщенный при условиях биосферы соляной водный раствор океана непрерывно выделяет разнообразные твердые фазы вещества, такие, которые или содержат химически связанную воду или же образуют новые тела ее разложением.

Если бы Океан был безжизнен, он в условиях температуры, давления и безжизненной газовой атмосферы того же состава, как тропосфера, находился бы в химическом равновесии – не выделял бы никаких твердых или жидких веществ, и газовый режим его был бы прост и маломощен.

Совершенно иное явление представляет из себя Океан – его вода – под влиянием геохимической энергии жизни.

В нем непрерывно идет выделение твердых и жидких химических соединений: равновесие ненасыщенного соляного раствора постоянно нарушается.

В океанах этим биохимическим путем идет выделение из раствора и концентрация молекул в двух направлениях.

Прежде всего, создаются тела морских организмов – процесс недостижимой быстроты для наших синтезов.

Их молекулы находятся в вечном перемещении, так как при гибели организмов они возвращаются назад в воду, проходя через другие организмы.

Другой ток молекул, выходящих из состава морской воды биогенным путем, связан с гидратацией вадозных минералов – карбонатов, фосфатов, гидратов углеводов – азотистых соединений и т.п.

Среди этих тел необходимо сейчас же отметить гидраты, так как этим путем в лабильной форме уходят из Океана огромные массы воды – часть мощного планетного процесса биосферы.

Он идет двояким путем: часть гидратов отлагается при жизни разнообразных организмов в их телах, в их скелетных частях (например, опалы), часть же связана с жизнедеятельностью бактерий и выделяется ими как экскрет (например, гидраты окисей железа и марганца).

О значении этого процесса можно судить по тому, что древние отложения так образованных вадозных минералов являются для железа и для кремнезема наибольшими по массе известными нам их концентрациями в земной коре.

127. Неменьшие количества гидратов создаются непрерывно в Океане биохимическими реакциями иным путем.

Проникнутый жизнью соленый раствор – морская вода – отличается от безжизненного раствора того же состава тем, что этот раствор энергично и глубоко меняет окружающее водное океаническое вместилище, его твердую и жидкую среду.

На дне и на боках (берегах) океана поселяется жизнь, и создаются морская грязь и биоценозы – самые химически активные части биосферы, проникнутые вечно изменяющейся под влиянием жизни чрезвычайно химически активной водой.

Это места создания гидратов, гидратного связывания морской воды путем сложных процессов, в которых участие жизни бросается в глаза на каждом шагу и которые не идут или идут в малой степени и в иной форме в ее отсутствии.

Этим путем создается большая часть тех глин, которые нас всюду окружают и в составе которых преобладают алюмо- и феррисиликатные кислоты, т.е. минералы семейства каолиновых соединений.

Безжизненный соляной раствор состава морской воды при термодинамических условиях биосферы, лишенной жизни в безжизненной атмосфере, является телом, инертным и не создает этого явления. С геохимической точки зрения оно может рассматриваться как морское, подводное выветривание.

128. Вода гидратов надолго уходит из жизненного круговорота. В тех случаях, когда эти гидратные твердые образования выделились в морях, не принадлежат к глубинам океана, может быть, никогда не входившим в сушу, – они вместе с известняками (продуктами биогеохимического процесса, связанного с установлением солевого состава морской воды) путем тектонических процессов дают начало стратифере, т.е. осадочным породам.

Вода в конце концов из стратиферы возвращается в извечный круговорот.

В глубоких же океанических осадках часть воды биохимически связывается этим путем на долгие геологические периоды, может быть на все геологическое время.

Влияние организмов суши на историю природных вод

Es ist die Menge, die mir fröhnet
Die Erde mit sich selbst versöhnet
Den Wellen ihre Grenze setzt
Das Meer mit strengem Band umzieht.
.....
.....

Ein Sumpf zieht an Gebirge bin,
Verpestet alles schon Errungne,
Den faulen Pfuhl auch abzuziehen
Das Letzte wär' das Höchsterrungne.
Eröffnete ich Räume für Millionen
Nicht sicher zwar, doch tätig frei zu wohnen.

.....
Nur der verdient sich Freiheit wie das Leben,
Der täglich sie erobern muss.
Hier so verbringt umrungen von Gefahr
Hier Kindheit, Mann und Greis sein tüchtig
[Jahr.

Solch ein Gewimmel möcht ich sehn,
Auf freiem Grund mit freiem Volke stehn¹

J. W. Göthe. Faust, II, 1788–1831.

129. Совершенно иной характер свойствен проявлению биогеохимической работы организмов суши в истории природных вод.

Резкая разница в эффектах жизни в гидросфере и на суше является одним из проявлений той общей диссимметрии в строении земной коры, о которой для воды постоянно приходится напоминать. Она для биогеохимических реакций моря и суши выявляется сейчас особенно резко, ибо на суше благодаря деятельности такого организма, каким является культурный человек в последние один-два десятка тысяч лет, происходит резкое изменение и чрезвычайное усиление извека шедших геохимических процессов, имеющих значение в истории воды. В древних областях культуры, в густо населенных местностях Азии, Европы, Африки изменен и режим и химический состав всех водоемов и рек в частности. Подобно тому, как это мы наблюдаем для полей, садов, искусственных насаждений и лесов, здесь исчезли старые девственные воды. Вся природа плейстоцена, вся биосфера меняется деятельностью цивилизованного человечества. «Девственные» реки быстро исчезают или исчезли и заменились нового типа образованиями, новыми водами, раньше не существовавшими. На огромной территории Евразии, а за последнее столетие в Америке и в Австралии – во всей биосфере идет переработка природных

¹ Перевод Н. Холодковского, не вполне передающий подлинник:

Здесь вся толпа мой замысл исполняет:
Она кладет предел морской волне,
С самой собою землю примиряет,
Грань строгую для моря создает.

.....
До гор болото, воздух заражая,
Стоит, весь труд испортить угрожая,
Прочь отвести гнилой воды застой –
Вот высший и последний подвиг мой!
И пусть миллионы здесь живут.
Всю жизнь, ввиду опасности суровой,
Надеясь лишь на свой свободный труд.

.....
Лишь тот достоин жизни и свободы,
Кто каждый день за них идет на бой!
Всю жизнь в борьбе суровой, непрерывной
Дитя, и муж, и старец пусть ведет,
Чтоб я увидел в блеске силы дивной
Свободный край, свободный мой народ!

вод и одновременно создание новых культурных рек, озер, прудов, прибрежных морских образований, почвенных растворов. Начало процесса теряется в седой исторической древности Египта, Месопотамии, Средней Азии, Китая. Немногими тысячелетиями позже он начался в Центральной Америке. А в XIX и XX вв. кривая изменения небывало резко поднялась вверх, охватив всю биосферу.

Этот процесс идет вглубь, меняет режим пластовых вод биосферы и стратисферы. Тысячелетия идет изменение верховодок – вод грунтовых, позже началось изменение бурением и рудным делом вод пластовых напорных. Сейчас оно местами сказывается глубже двух километров от земной поверхности.

На всей биосфере исчезают и изменяются старые виды поверхностных, пластовых вод, вод почв и источников, создаются новые культурные воды.

130. Река меняется ее использованием для ирригации и находящимися на ней поселениями человека. Но еще больше она (состав ее воды, в частности) меняется тем изменением, какое вносит культурный человек в окружающую живую природу. Превращение девственной ее формы в культурную резко отражается на составе почвенных растворов, на ходе испарения метеорных вод – на процессах выветривания. Культурная работа человечества, влияя на состав атмосферы, меняет состав дождевых и снеговых вод – столь ясно, например, для миграций серы или азота.

Но и более непосредственно человек меняет реку. В густонаселенных, культурных местах каждый ручеек, источник, мелкая речка меняется в своем режиме человеческим трудом, превращается в культурный водосток. Этим путем не только совершается большее изменение, чем какие-нибудь огромные изменения, связанные с регулированием русла больших рек и использованием их энергии, но все эти воды постоянно поддерживаются волей и трудом человека в нужном ему направлении, часто противоположном природному процессу. Вся поверхностная и грунтовая вода, например, такой страны, как Германия, находится под непрерывным действенным надзором, непрерывно человеком меняется. В этом заключается культурная работа земледельца и горожанина. Эта работа производится часто незаметно, требует непрерывного внимания, поправок и изменений, производится *бытом* – работа миллионов семей в течение тысяч поколений. Работа по своим последствиям количественно огромная, стихийная.

131. Современная вода суши (вода поверхностная целиком, а частью верховодка, почвенная) есть геологически новое явление в истории планеты, небывалое в прежние геологические эпохи. Вековечный ход воздействия живого вещества на воды изменен появлением одаренного разумом и волей *Homo sapiens faber*.

Изменение всей воды суши под его целевым, сознательным, а попутно и бессознательным, влиянием все увеличивается.

В связи с этим идут неисчислимые изменения во всем механизме биосферы. Изменение природных вод культурой есть тот рычаг, которым человек, желая или не желая, это производит.

132. Но культурный человек не только резко меняет режим существующих водоемов. Он создает – произвольно – новые, небывалые их формы. Так, например, созданы рудничные воды или те наземные и подземные воды, которые связаны с отбросами химической промышленности.

Человек с каждым десятилетием все усиливает проявление своей работы. Ибо он начинает углублять использование вод, как источника энергии. Начатое более пяти–шести тысячелетий назад, оно сейчас принимает новые формы. По Б.П. Вейнбергу (1929), к концу первой четверти XX в. человечество уже использует около 1% энергии водотоков (белый уголь) и около $1 \cdot 10^{-7}$ % энергии волн и приливов (синий уголь). Ясно, что это процесс только что начавшийся, но уже оказавший могущественное влияние на окружающую природу. Впереди не только окончательный захват всей этой энергии, но и новые, раньше небывалые изменения извечного хода истории воды в биосфере: таково использование горячих вулканических паров и создание искусственных гейзеров бурением, начатое в XX в. итальянцами Джинори, Конти и Бринкенти (1916), или использование холодной воды морских глубин, вводимое в жизнь французом Клодом (Claude, 1928), или регуляция метеорных осадков в связи с интересами земледелия, стоящее на очереди использование энергии морских волн.

Меняя отношение моря или суши, голландские польдеры или осушения Зюдерзее, морские каналы, как Суэцкий или Панамский, отражаются в едином целом Природы совершенно неожиданными и новыми явлениями в истории природных вод. В. Гёте, заканчивая жизнь своего Фауста, ища как натуралист и поэт величайшего воздействия человека на природу, направил его работу на изменение границ моря и суши – на захват суши части поверхности моря. Сейчас эта работа идет на всей планете – в масштабе новом и неггаданном сто лет назад, когда заканчивалось великое создание этого гения.

Мы лишь в начале механического воздействия на окружающую сушу. Гидромонитор (водобой), изобретенный Фишером в 1860-х годах, сейчас открывает новую форму воздействия жизни на рельеф планеты.

Водяной пар является главной силой, приводящей в действие наши машины – то орудие, которым человек меняет лик Земли и режим природных вод. Сейчас (1930) в Англии, например, все другие, независимые от водяного пара, двигатели – газовые, масляные и т.п. составляют всего 1,5%; остальные – все паровые двигатели (но Эвингу – Ewing, 1931).

133. Сейчас мы живем только в самом начале психозойской эры. Охватить результаты ее целиком еще невозможно.

Мы находимся еще в переходном времени. Однако мы не можем оставить без внимания надвигающуюся, меняющую историю и состав природных вод силу.

Выдвинулись проблемы количественного учета – во всем разнообразии – изменения природных вод человеческой культурой, приходится восстанавливать характер тех вод, какие существовали сто тысяч лет тому назад и в прежние геологические периоды. Эти проблемы едва затронуты, но они могут быть охвачены научной мыслью, и необходимо стремиться к их разрешению, не упускать их из виду при изучении истории природных вод.

Мы находимся здесь в том же положении, в каком сталкиваемся и в других отделах минералогии, – с появлением культурой созданных новых природных соединений, меняющих историю природных тел того же или близкого состава. Я касался уже этого в истории металлов (I, § 267 и сл.); то же самое отражается и в истории природных газов (CO_2 , SO_3 , H_2S и т.п.). Эти новые типы химических соединений – «искусственных», т.е. созданных при

участии воли и сознания человека, пока могут быть оставлены в стороне при изучении истории природных тел.

Но это явно временное решение вопроса. В истории ряда минералов, например, углекислоты, нельзя не считаться с продуктами человеческой работы. Нельзя не считаться с ними и в истории природных вод. Но, с другой стороны, невозможно и вводить их целиком сейчас в наше рассмотрение. Множество вод, связанных с техникой, вечно и быстро изменчивой, – являются временным, преходящим явлением. Многие из новых вод ничтожны по массе – являются редкими, быстро исчезающими «минералами».

Я буду касаться этих новых вод – созданий культурной жизни – только постольку, поскольку это необходимо для понимания существенных основных черт истории природных вод. Но это, конечно, только временное решение вопроса – это исконный путь натуралиста, ищущего в сложном явлении реально в данный момент важное, а не логическую последовательность.

134. Есть еще одно явление, связанное с культурным изменением природных вод суши, которое неизбежно должно нами изучаться, хотя обычно не оценивается в своем значении.

Это то изменение, которое вносится в окружающую природу вообще и в историю природных вод в частности изменением живых организмов – созданием культурных животных и растений и заменой ими девственной живой природы.

Это влияние культуры сказывается для всех минеральных продуктов, резко меняет историю всех вадозных минералов. Мы нигде не видим их уже в древней докультурной форме.

Нигде это не сказывается так резко, как для природных вод суши.

Очень вероятно, что именно изменение человеком живой природы – создание земледелия и скотоводства – резкое и основное изменение древней фауны и флоры, создание нового лика жизни в биосфере – меняет историю природных вод более глубоко и по существу, чем бросающиеся в глаза изменения человеком режима и характера поверхностных вод суши.

Ибо этим путем резко и по существу меняется основная черта организованности биосферы – *почвенный покров суши*, педосфера.

Мы не привыкли сознавать, какие изменения вносит человеческая деятельность в историю природных вод, и не привыкли это учитывать.

Из бесчисленных нас окружающих явлений этого рода достаточно привести один пример, выясненный Ф. Камероном (1924), – историю озера Юта.

Озеро Юта вместе с Большим Соленым озером (Great Salt Lake) в штате Юта является остатком существовавшего в плейстоцене огромного пресного Бонневильского моря, превышавшего размерами современные наибольшие пресноводные озера. Озеро Юта было пресным еще в 1883 г. когда оно под влиянием расширения человеческой деятельности стало превращаться в соленое. Его солевой остаток – в 1883 г. по Ф. Кларку равный $3,06 \cdot 10^{-2} \%$ – в 1899 г. по Ф. Камерону равнялся $8,92 \cdot 10^{-2} \%$, а в 1903 г. озеро уже было соленым, и солевой остаток был по Б. Брауну $1,28 \cdot 10^{-1} \%$. Изменение произошло под влиянием того, что человек отвел – ослабил для ирригации пресные воды, которые питали озеро Юта. Из пресного озера состава O – Ca – S – C оно превратилось в соленое O – Cl – Na – S, превратилось трудом человека, для него самого незаметно и неожиданно.

135. Культурное человечество есть новый факт в геохимических процессах, и оно в своем воздействии на биосферу всецело входит, несмотря на большие и важные новшества, им вносимые, в рамку общих биогенных процессов.

И до него жизнь могущественно влияла и сейчас влияет на историю природных вод суши.

По масштабу и по интенсивности это влияние далеко пока оставляет за собой работу человечества, – идет впереди.

Эти биогенные миграции элементов, меняющие природные воды, – одно из основных проявлений организованности биосферы.

Организмы суши влияют на историю природных вод и разнообразнее и значительнее, чем организмы океана. Они, главным образом сухопутные организмы, чрезвычайно и своеобразно поднимают значение суши в геохимии планеты.

Живое вещество Океана и морей лишь сложным косвенным путем отражается на водном режиме атмосферы (§ 120), живое вещество суши входят как важный фактор в этот режим, коренным образом на него воздействуя.

Жизнь суши – растительность древесная и травяная, население болот и стоячих вод – врывается в баланс:

водяные пары атмосферы \rightleftharpoons воды и поверхность суши

в такой степени, в какой это не сказывается на поверхности океана.

В частности, высший зеленый растительный мир играет большую роль в круговороте парообразной воды тропосферы.

Роль этих организмов здесь очень разнообразна: она сводится на регулирование процесса; в иных случаях организмы задерживают процесс, в других они его усиливают. Жизнь непосредственно влияет на наземные, метеорные, почвенные воды, верховодки.

Основными для жизни являются метеорные воды тропосферы в виде осадков, падающих на землю.

Перехватывая эту воду и удерживая часть ее на земной поверхности и внутри себя, организмы образуют сплошной слой особого вещества, богатого водой, со своими особыми законами геохимических миграций.

Вода, попадая в организмы суши и в них удерживаясь, представляет такую форму нахождения, которая резко в несуществующей для водных организмов форме отделяется от других форм природных вод. Она вступает в нового рода связь с окружающей средой.

136. Изменения сказываются прежде всего на водном режиме атмосферы. Пары тропосферы находятся в трех для них различных средах: 1) в безжизненной, инертной поверхности литосферы (коре выветривания), 2) в водных бассейнах суши и 3) в организмах (в живом веществе суши).

Наибольшее значение имеют живые организмы – главным образом, преобладающая по массе зеленая растительность суши – в циркуляции паров тропосферы.

Зеленая растительность водой создается и неразрывно связана с водными парами и метеорными осадками. В своем развитии она меняет режим подземных верховодок, так как растения берут непосредственно из них или из почвенных и подпочвенных вод корнями нужную влагу.

В связи с этим процессом идет сложная транспирация растений, отдающих в атмосферу воду в виде паров.

До известной степени растительность суши играет роль своеобразных насосов, выкачивающих жидкую воду из почвенных растворов и грунтовых верховодок и передающих ее в виде паров в тропосферу.

Явление транспирации очень сложное; важно отметить основной факт. Всякий луг, поле, лес испаряют жизненным процессом в тропосферу больше паров воды, чем они ее получают в виде метеорных осадков.

Учитывая площади суши, покрытые сплошной растительностью, и то, что эти площади испаряют в несколько десятков раз больше, чем сплошные площади воды, становится ясным, что, благодаря живым организмам в механизме круговорота воды в тропосфере, суша может получить значение гораздо большее, чем это казалось бы с первого раза.

Площадь суши почти в три раза меньше площади океана. Испарение и поглощение водных паров идет с поверхности, так что казалось бы значение суши в этом процессе должно было бы быть в несколько раз меньше значения океана. Но зеленая растительность в десятки, может быть, в сотни раз увеличивает испаряющую и поглощающую поверхность суши. Зеленый травянистый организм испарением и транспирацией непрерывно пропускает количества воды в 250–1000 раз превышающие его вес. Не больше 0,2% ее задерживается организмом для построения своего тела. Едва ли является ошибочным утверждение, что площадь суши, раз она сплошь покрыта зеленой растительностью, во много раз должна превышать по количеству испаряемой воды испарения водных бассейнов Земли. Если в действительности нет такой разницы, то только потому, что испарение водных бассейнов происходит не со спокойной ровной поверхности, а связано с деятельностью *ветров*. Транспирация растительности во многом сглаживает на суше иссушающую работу ветра и выравнивает до известной – значительной – степени роль *суши* и океана в балансе испарения природных вод. Живой организм, защищая себя (и нужную ему влагу), производит геохимическую работу планетного характера.

Не меньшее значение зеленой растительности суши и в явлении *росы* – наземной и подземной – механизме, отсутствующем в водных бассейнах, влияющих на него косвенным образом, меняя влажность и охлаждение суши, – но механизме первостепенного значения в структуре суши и в истории природных вод суши.

137. На суше организмы ее водных бассейнов играют несравненно большую роль в равновесии:

природные воды \rightleftharpoons живое вещество,

чем морские или океанические организмы, если мы сравним результаты производимой ими геохимической работы с массой тех и других вод.

В водных бассейнах суши с этой точки зрения бросаются в глаза два явления: 1) большая по сравнению с океаном интенсивность биогенных процессов в водных бассейнах суши и 2) резко иной характер органогенных образований, выходящих из круговорота – вода \rightleftharpoons жизнь – и уводящих из него часть воды.

Большая интенсивность биогенных миграций водовместителей суши связана с несравнимой с океаном их глубиной – в общем с чрезвычайной мелководностью водовместителей суши. Вследствие этого они глубоко проникаются лучеиспусканием Солнца и интенсивно захвачены жизнью.

Воды суши – за немногими исключениями (например, такие пресные моря, как Байкальское) – образуют целиком одно единое сгущение жизни, тогда как в океане эти сгущения разделены огромными толщами воды, бедной жизнью, иногда в километры мощностью.

Уже благодаря этому вся химия пресных, соленых и рассольных вод суши резко отличается от вод океанических и морских.

138. К этому присоединяется совершенно иной водный режим – и химический состав – самих организмов суши (и сухопутных и водных) и морей и океанов.

Два обстоятельства должны быть здесь отмечены: 1) характер диффузионных процессов между водной средой и водой живущего в ней организма и 2) роль наземных организмов в режиме наземных водных бассейнов.

В равновесии – вода \rightleftharpoons организмы – для суши как для ее водных, так и для ее сухопутных организмов нет в организме изотоничности внутренних жидкостей с окружающей их водной средой. Осмотические явления получают поэтому большое значение в отличие от морской жизни (§ 124).

Состав водных жидкостей живого вещества гораздо более меняется и нередко резко отличен от окружающей водной среды.

139. Благодаря тем же условиям мелководности и большей береговой линии, водовместители суши находятся в гораздо большей зависимости от окружающего их сухопутного животного мира, чем моря и океаны. И там эта жизнь (например, роль в круговой миграции фосфора, калия и т.п. – в круговороте: суша \rightleftharpoons море, мира птиц, компенсирующих деятельность рек) имеет большое значение. Здесь же ее значение первостепенное.

Огромное количество поверхностных вод суши поглощается – в процессе *питья* – организмами суши как животными, так и растительными. Огромно также и то количество растительных и животных организмов суши, которое вносится в ее водоемы и идет на создание значительной части органогенных минералов водовместителей суши, выводящих этим путем часть химических элементов надолго из жизненного круговорота.

Отчасти от этого, может быть, в главной части от этого, наблюдается такой резко различный процесс биогенных миграции, приводящий в морских бассейнах к образованию органогенных гидратов кремнезема, окиси железа, может быть, глинозема, безводных карбонатов, может быть, водных алюмо- и феррисиликатов, а в бассейнах суши–содержащих ВОДУ углей и битумов на первом месте и в значительно меньшей степени некоторых органогенных минералов, например, гидратов окиси железа или опалов, аналогичных морским.

140. Сама вода наземных организмов во многом резко отличается от воды организмов водных. По-видимому, с одной стороны, и гели и растворы здесь могут достигать гораздо большей концентрации, чем это наблюдается для организмов водных. В некоторых случаях, например на солонцах, мы наблюдаем растительные организмы, вода которых представляет *рассол*;

эти организмы концентрируют соль из окружающей их почвы¹. Никогда таких концентраций не наблюдается в морском живом веществе. По-видимому, наблюдаются здесь такие концентрированные золи, которые не встречены в морских организмах.

Количество воды в наземных организмах меньше, чем в морских, однако разница не столь велика, как это можно думать. В наземных растениях и среди некоторых насекомых она достигает 90% или в отдельных случаях значительно больше. В ряде случаев мы имеем несомненно цифры, отвечающие морским, наиболее богатым водою организмам, например, – в сухопутных одноклеточных водорослях и т.п. В других, например, мхи, – мы имеем выработанные организмами гигроскопические образования, притягивающие воду. Воды может быть в много раз больше веса сухого организма.

К сожалению вопрос о количестве и характере воды наземных организмов, несмотря на большую литературу, далек от ясности.

141. Растительность (и связанный с ней животный мир) чрезвычайным образом неизменно меняет химические свойства ручьевых, метеорных, почвенных и грунтовых вод, – она меняет этим путем химический состав рек и этим определяет самый состав морской воды. Неизменность этого состава в течение всего геологического времени указывает на неизменность всей структуры живого вещества биосферы и в частности – органического мира суши. Это изменение верхних вод биосферы является главной функцией наземных организмов в истории природной воды.

Можно для некоторых научных проблем с удобством рассматривать жизнь как особую коллоидную водную систему – «одушевленную воду» Р. Дюбуа (§ 7), – которая войдет в классификацию вод как особое царство природных вод.

Создание такого царства природных вод меняет все поверхностные воды суши в такой степени, как этого не производят организмы океана в океанической воде, так как такая «одушевленная вода» по массе соизмерима с водами суши и ничтожна по сравнению с массой океана.

Организмы суши создают свою водную массу в основной по весу части – в растительном покрове суши – из почвы, из воздуха, из метеорных осадков, в меньшей степени из поверхностных и грязевых вод, из верховодок.

142. Основную роль играют *почвенные растворы*, покрывающие непрерывной пеленой почти всю поверхность суши и являющиеся одной из главнейших и основных форм природных вод. Их роль в экономии природы исключительная.

Так как водные растворы в растениях не изотоничны с почвенными растворами, растения, беря из них воду, оказывают огромное влияние на характер самого почвенного раствора.

Жизнь, с одной стороны, регулирует здесь образование гумуса, органического вещества почвы, выводя этим путем часть воды из круговорота, а с другой стороны, меняет коллоидальную структуру почв, неизбежно связанную с огромной их влагоемкостью. Часть волосной воды почв, этим определяемая, неподвижна.

¹ Все эти заключения требуют количественной проверки ввиду малой изученности вопроса. Растения солонцов несомненно содержат иногда рассолы и вытягивают соль из почвы.

Почва в природных условиях часто удерживает 15% и больше такой воды по весу.

Но организмы меняют почвенные растворы и другим путем. Во-первых, они частью создают ее компоненты, например, характерные для почвенных растворов органические вещества, SO_4^{2-} , CO_3^{2-} и HCO_3^{1-} , NO_3^{1-} NH_4^{1-} , и, во-вторых, они при питании выбирают из почвы нужные им ионы и элементы, т.е. определенным образом обрабатывают состав почвенного раствора. Почва и зеленый растительный мир и ее микроскопические фауна и флора представляют единое химически не делимое динамическое равновесие.

Почва – могучий фактор, который почвенным раствором меняет состав поверхностных вод, в частности рек. Речная же вода определяет состав морской воды.

Коренным образом меняя, определяя количественный состав и газовый режим почвенных растворов, организмы суши в конце концов определяют и влияют на солевой состав соленой воды океана.

143. Существует огромная, распространенная, хотя и не собирающаяся в больших водовместилищах группа природных вод, которая еще в большей степени – или в равной – с почвенными растворами является продуктом жизни.

Эти воды находятся вне организмов, но изменены ими не менее, чем воды, составляющие часть тела организмов (§ 117). В них поселяется микроскопическая жизнь и еще больше увеличивает в них проявление биогенных миграций организмов.

Я называю эти воды *биогенными или органогенными водами* и сколько возможно принимаю их во внимание.

Это – прообразы *культурных вод*, они существовали во все геологические периоды.

Рассеянные в растительных сообществах они недолговечны, постоянно возобновляются, в каждый момент охватывают огромные массы воды. Их роль и значение – и их масса – также важны в механизме биосферы, как важна роль луж.

Они собираются в дуплах, цветах, на листьях и ветвях, проникают во влажных и тропических лесах и степях, в пещерах и на скалах (во мхах) все разнообразие зеленого растительного мира.

И их состав и их газовый режим разнообразен. В общем их значение в истории воды биосферы по-видимому одного порядка с значением воды, захваченной внутрь самими организмами.

144. Живое вещество является незаменимой и важной частью основных круговоротов воды биосферы и через эти круговороты глубоким образом меняет всю историю земной коры. Это, главным образом, *наземные организмы суши*, которые исполняют в водном механизме биосферы первостепенные функции, связанные с передвижением водных масс из одной геосферы в другую, первым делом в обмене водяных паров и водных растворов в пределах биосферы.

Их значение в этой части механизма биосферы так велико, что не может не быть особенно подчеркнута.

В биосфере, где находится живое вещество, можно различить три разных оболочки (геосферы): гидросферу, кору выветривания и тропосферу (I, § 33). Но в истории воды действие живого вещества выходит за эти пределы и ска-

зывается, с одной стороны, в стратисфере (I, § 32, доп. – осадочная оболочка) и, с другой – в тех магматических выделениях (вулканических процессах), которые проникают в биосферу и вносят в нее чуждые ей условия метаморфической, может быть, магматической, оболочки.

Так как это все явления повторяющиеся и непрерывно в биосфере существующие, то очевидно они представляют части ее организованности и как таковые должны обратить на себя научное внимание.

145. Я уже указывал на значение наземной растительности в обмене водных масс между корой выветривания и тропосферой (§ 136), точно так же на то влияние, какое организмы суши играют в создании морской воды (§ 126 и сл.).

Организмы суши влияют на океан и другим путем, и в дальнейшем мы с этим встретимся. Здесь я отмечу лишь два процесса: с одной стороны, *питание* наземных организмов морской нищей. Этот процесс идет в таких размерах, что, может быть, компенсирует – во всяком случае возвращает на сушу – соизмеримую часть тех масс химических элементов, которые реки в растворе приносят с суши в море.

С мезозойской эры эту роль главным образом играют птицы.

Другой формой является *захват частей моря растительностью суши* и создание этим путем новых видов вод. Таково образование подтропических болот – таксодиевых, например, – или не менее мощных – мангровых.

Вся область этих явлений не исследована в достаточной мере химически и не учтена с точки зрения истории природных вод.

146. Не меньше значения имеет живое вещество суши в создании режима вод стратисферы и метаморфической оболочки. Здесь нельзя отделить живой мир суши от жизни моря. Но так как стратисфера и метаморфическая оболочка отсутствуют под главной частью гидросферы (§ 90), а стратисфера построена в значительной мере при участии жизни моря (не океана), в дальнейшем на нее не влияющей, – то можно принимать во внимание жизнь суши, а не океана, говоря об изменении уже сложившейся стратисферы, а следовательно и метаморфической оболочки.

Мы увидим, что в биосфере зеленые растительные организмы, создавая *кислород*, придают всем вадозным водам особый характер. Это воды азотно-кислородные и углекисло-азотно-кислородные. Уже в стратисфере и глубже кислородных вод нет. Здесь господствуют воды азотно-углекислые и, вероятно, углекислые.

Углекислота, проникающая эту часть земной коры, создана, однако, в значительной части тоже жизнью.

Этот огромный процесс, только что начинающийся выясняться и аналогичный созданию свободного кислорода, в истории воды имеет первостепенное значение, определяет характер главных масс вод суши.

Углекислота или есть продукт биохимических процессов, или же является продуктом сгорания всюду рассеянного «органического вещества». Значительная часть углекислоты вулканических извержений, газовых струй, минеральных источников окажется в конце концов органогенной.

147. Здесь мы подходим к другому проявлению живого вещества в обмене воды между геосферами.

Органическое вещество, проникающее все вещество доступной изучению земной коры, все – биогенного происхождения. Его водород в подавляю-

щей части получен организмами путем разложения молекул воды. Оно всегда содержит воду лабильно связанную как химически, так и физически. Такая вода находится в гумусе почв и грядеях, в углях, битумах, нефтях.

Медленными геологическими процессами эти органические вещества, остатки тел и метаболизма организмов из биосферы попадают в стратисферу, в метаморфическую оболочку.

Вода этим путем уносится из биосферы; это одно из проявлений геохимической энергии жизни.

148. Она частью и непрерывно возвращается в биосферу назад.

Прежде всего, она возвращается во время вулканических извержений.

В тропосферу непрерывно во время всякого вулканического извержения – наземного и морского – вулканические излияния идут через стратисферу и кору выветривания и меняют их вещество, выбрасываются огромные количества водяных паров, часть которых произошла путем сгорания органического вещества, как мы видели, продукта жизни.

Всякое сгорание органического вещества является синтезом воды и дает в тропосферу значительное количество водяных паров такого происхождения. Оно не может быть безразличным в ходе времени. Культурная деятельность человечества является фактором, все более и более увеличивающимся в том же направлении.

Возвращается этим путем в биосферу не только гигроскопическая вода, но и водород органического вещества вновь дает воду, из которой он был восстановлен.

Конечно, не вся вода вулканических извержений имеет такое происхождение, но значительная часть ее, какая – мы сейчас не знаем.

Жизнь проявляется в этом синтезе своей геохимической энергией двойным образом: свободным кислородом атмосферы, ею создаваемым, и водородом своего органического вещества.

149. Сгорание органического вещества идет не только в биосфере – деятельностью ли вулканических извержений, человека, независимых от него природных пожаров.

Оно идет и глубже – в областях стратисферы и в метаморфической оболочке.

Там, несомненно, должна с повышением температуры выделяться гидратная и гигроскопическая вода, связанная с продуктами изменения организмов суши. Но там – все указывает – идет и более глубокий процесс метаморфизации такого органического вещества, новый синтез воды, химически более сложный, чем простое сгорание.

Этим процессом, вероятно, создается большее количество фреатической воды, чем мы себе это обычно представляем.

3. Коллоиды и капиллярные воды в земной коре

Общие замечания

150. В истории природной воды огромное значение имеют не только ее химические свойства, но и те физические связанные с ней явления, которые мы относим сейчас в область частичных или молекулярных сил.

Это – явления, идущие на границе жидкой воды и всякой с ней связанной разнородной среды – твердых, жидких и газообразных тел какого бы то ни

было состава. На границе соприкосновения развиваются частичные силы, изменяющие и воду и тело, которое с ней соприкасается.

Эти явления можно выражать разными образами, отбрасывать понятие «сила», но дело от того не изменится, выражение не станет более научным. Для тех явлений, которые нас интересуют, выражение их в образах частичных сил имеет удобства, которых автор будет придерживаться.

Это проявление прежде всего так называемых коллоидальных и волосных свойств воды и изменения ею этим путем бесчисленных химических соединений, которые входят в состав природных вод. Сейчас в этой области явлений не установились еще наши представления. Нет резко господствующей научной теории, несмотря на огромную научную работу, произведенную и производимую в области этих явлений. Два основных представления существуют; из обоих можно брать образы для научной картины явления. Одно более старое, научно охваченное еще в XVII и XVIII вв., сводит явление на *частичные силы* воды и находящихся в ней тел, на силы отталкивания и притяжения между частицами и атомами. Другое, более новое, видит причину явления в изменении пространства, занятого веществом, в нашем случае природными водами. Оно рассматривает коллоидальные и волосные силы как явления электрические. Оно ближе сейчас к тем научным представлениям, какие отвечают картине физического мира XX в., но оно далеко еще от охвата точным числом и точною мерой разнообразнейших явлений частичной физики. Совсем не разработаны представления еще более отвлеченные о диссимметрии, неизбежно проявляющейся на границе соприкосновения двух тел, как основе явления.

Учитывая одновременное существование разнородных представлений и объяснений, малую разработанность самых глубоких из них и теоретическую неясность наблюдаемых процессов, можно утверждать, что их значение в истории природных вод только увеличится с ходом времени: многих сторон явлений мы еще не видим. Но уже и сейчас эмпирический материал позволяет – без всяких колебаний – выдвигать эти явления на самое видное место в минералогии природных вод.

Я уже отметил в самом начале то значение, какое частичные силы приобретают в основных явлениях природных вод, например, в равновесиях: природные воды \rightleftharpoons твердое тело (§ 11).

Для некоторых относящихся сюда явлений теория – в форме научных гипотез и моделей – достигла большого совершенства и позволяет с явным успехом количественно охватывать довольно заметную часть наблюдаемых фактов. Эти разработанные и научно охваченные части учения о частичных явлениях природных вод не объединены все же в единую широко признанную теорию.

Можно отличить здесь две категории явлений: во-первых, *коллоидальные состояния и проявления* природных вод и, во-вторых, *волосные и другие их свойства, связанные с поверхностным натяжением*.

151. Можно видеть в этом эмпирическом делении особые – разные – формы возбуждения частичных сил. В первом случае вода охватывает со всех сторон сторонние твердые (реже жидкие и газообразные) тела, причем – под влиянием частичных, иногда химических сил – размеры этих сторонних включенных в воду (или водный раствор) тел становятся все меньше по мере

того, как система приближается к устойчивому равновесию; охваченные водой тела – молекулы – дробятся. Во втором – частичные силы развиваются на границе водных масс и окружающих их других физических тел; эти силы развиваются и на границе воды в коллоидальном состоянии с окружающим ее дробящимся телом.

Неизбежно, автоматически, проявляются частичные силы и возбуждают в соприкасающихся телах, из которых одним является вода, в окружающей среде новые явления – *коллоидальные состояния*. Очевидно, как велико должно быть их проявление в земной коре, где, как мы видели, вода играет совершенно особую роль и все проникает.

От положения природной воды по отношению к твердым, газообразным и жидким составным частям планеты прежде всего зависит ее измененный частичными силами характер. В общей картине мы видим, что поверхностные воды, находящиеся на границе с тропосферой, выделяют в грандиозном размере *капиллярные явления* – в частности всегда ограничены на своей поверхности раствором в особом состоянии и особого химического состава – поверхностной пленкой, областью поверхностного натяжения. Воды подземные, особенно в верхней части планеты, где твердое вещество раздроблено, приобретают неизбежно *определенную структуру*, распадаются на находящиеся между собою в теснейшем соотношении особые части единой водной – охваченной частичными силами – системы. На границе с твердыми телами образуется тончайшая пленка, охватывающая (в пределе) одномолекулярным слоем все стороннее твердое тело, соприкасающееся с водой – область *воды гигроскопической*; уже в рамках этих прилипающих к сторонним твердым частицам тончайших водных слоев идут проявления капиллярных свойств *пленочной воды*, может быть связанные с влиянием проникающих природную воду газов; и, наконец, за ее пределами вода приобретает все нам известные свойства жидкого тела. Входя в соприкосновение с плотными породами, вода, проникая в них, становится нам невидной, образует как бы губчатую массу из тончайшей пленки, проникающую все земное твердое тело.

Достаточно воде дождя попасть в почву, чтобы под влиянием поверхностных сил получилась такая ее структура.

Химически чистая вода и раствор дают все эти явления. Чем мельче частицы твердых тел, с которыми вода входит в соприкосновение, тем ярче и резче проявляются коллоидные явления. Мы увидим ниже, какое значение имеет этот характер воды в истории вод нашей планеты.

152. Изменения, производимые частичными ее силами, еще глубже сказываются, когда вся масса воды проникнута мельчайшими, невидными глазу частицами, когда получаются *коллоидные растворы* – *золи* и *гели*.

Огромное количество природной воды находится в таких коллоидных системах. Сюда должна быть отнесена почти вся вода организмов, еще большая по весу вода почв и подпочв как почвенных и подпочвенных растворов, так и твердых почвенных и подпочвенных составных частей. Золями являются почти все поверхностные природные растворы суши; в составе биосферы и стратисферы заметная часть твердого вещества находится в форме гелей и аморфных масс, богатых водою.

Золи и гели были выделены уже первыми учеными, вдумывавшимися в эти явления. Золи представляют коллоидные образования, в которых капель-

ножидкая вода резко преобладает над проникающими ее коллоидными тельцами; гели являются коллоидными массами, в порах которых содержится капельножидкая вода, образующая как бы губку, в пустотах которой находятся коллоидные структуры.

Обычно в природных водных растворах границы между золями и гелями резкие. Вязкие и клейкие промежуточные текучие образования, так же как студни, в природе отходят на второе место, хотя легко могут быть приготовлены в лабораториях. Для невооруженного глаза и без точного физического исследования природный золь не отличим от капельножидкой воды.

153. В ясно выраженных резких природных золях, какими являются почвенные растворы наших широт, по К.К. Гедройцу (1912), коллоидные тела составляют $2 \cdot 10^{-2}$ – $1 \cdot 10^{-3}\%$; в воде пластичных глин Девоншира их количество достигает $5 \cdot 10^{-2}\%$ по Д. Меллору (1923), а в каолинах спускается до $5 \cdot 10^{-3}\%$.

В самых богатых до сих пор нам известных природных золях – в озерных водах, богатых коллоидными алюмосиликатами, процент коллоидов доходит до 1% (Э.Р. Ведекин и А. Штраубе, 1922).

Очень может быть, что это представление изменится, если этот вид поверхностных коллоидных вод окажется в биосфере более распространенным и разнообразным, чем мы это сейчас думаем. Явление слишком мало изучено, чтобы можно было отрицать эту возможность. Но уже сейчас ясно, что как бы ни были развиты эти природные богатые коллоидами золи, – господствуют по массе захваченной ими воды только золи, процент коллоидов в которых не превышает немногих сотых долей процента ($n \cdot 10^{-2}$, едва ли $5 \cdot 10^{-2}\%$).

В частности, по отношению к главной массе воды – к гидросфере – проникновение ее золями еще меньше; оно заметно выступает лишь в донной и в грязевой областях (сгущениях жизни берегов и дна) и отчасти в планктонной пленке.

В подземных водах стратисферы и, может быть, в верхней метаморфической области с глубиной коллоидный характер вод, по-видимому, начале увеличивается.

Однако это явление не может идти очень глубоко, так как, под влиянием давления, золи свертываются в гели. Есть предельные давления (очень большие – выше 17 000 атм., например, для MoO_3), дальше которых золи не существуют. Для $\text{Fe}(\text{OH})_3$, например, по Уильсону и Паультеру (Wilson, Poulter, 1929), предел лежит выше 300 атм.

154. Влияние давления очень мало изучено, и потому надо судить здесь с большой осторожностью. Надо ждать, что с глубиной коллоидные растворы становятся неустойчивыми и в этих областях могут образовываться гели, сгустки, реже студни, в которых свойства мицелл преобладают над свойствами воды, и тела этого рода должны в минералогии выходить из группы природных вод в другие минеральные группы.

Так, в стратисфере и в нижних частях биосферы, вероятно, нередки студнеобразные формы кремнезема, полужидкие опалы, переходящие быстро в твердые массы. В них по весовому процентному составу вода преобладает, и они имеют все аналогии с рассольными водами, которые мы относим к природным водам. Но такие студнеобразные массы кремнезема или богатые кремнеземом мы относим – как минералы – к опалам, а не к водам, ибо во

всей своей истории земной коре они неразрывно связаны с опалами и с кварцом, а не с водой. Эти студнеобразные гели очень мало изучены.

Возможность связи таких гелей (студней) с природными водами – с их равновесиями – мы будем также принимать во внимание, как и возможность связи с ними выделяемых водами гидратов солей, где тоже иногда вода преобладает (например, в мирабилите $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ –55,90% H_2O).

155. Удобно при дальнейшем рассмотрении исходить из тех современных представлений о коллоидальных явлениях, которые сводят их к образованию тончайших мутей твердых частиц *в воде* – *дисперсных систем*, – причем под влиянием поверхностных сил этих частиц и молекул воды происходит их взаимное влияние, развивается особое поле молекулярных сил, особого рода электрическое состояние пространства, занятого водою. Это коллоидальное состояние связано с определенными – ничтожными размерами посторонних частиц, находящихся в водах; размеры их лежат в пределах $10^{-5} \cdot 10^{-7}$ см; частицы обладают особым электрическим состоянием.

Несмотря на отсутствие точно установленной научной теории этих явлений, все же благодаря их огромному значению и в науке – в биологии, в физике, в химии, в минералогии, в почвоведении, – и в жизни (например, в медицине и в земледельческой химии), в этой области накопилось огромное количество фактов, эмпирических обобщений и частных разработанных научных гипотез, которые часто позволяют идти уверенным путем.

Современные представления основаны, в конце концов, на идеях немца К.В. фон Негели (1883) и русского П.П. фон Веймарна (1907). Они вошли в научное понимание лишь за последнее десятилетие. Большое значение в этом отношении имеют работы Ф. Амбронна, позволившие в ряде случаев реально наблюдать и изучать мицеллы. Негели впервые установил, что химические однородные твердые соединения (определенные или неопределенные) распыляются в коллоидных средах в мельчайшие частицы – *мицеллы*, поверхностные свойства которых главным образом и определяют коллоидальное состояние материи. Веймарн развил идею Негели, доказав опытом, что мицеллы имеют кристаллическое строение (предвиденное Негели) и в зависимости от своей величины (дисперсности) дают, с одной стороны, переходы в молекулы, а с другой стороны – в более крупную муть.

Эти представления придали реальный образ, удобный для научной работы, старым идеям Браконно, Сельми, Грэхэма и других, установивших отличие коллоидов от кристаллических тел. Коллоидный раствор находится в вечном и в сложном движении и все время меняется со временем. В нем устойчивое равновесие и стойкость, характерные и легко достигаемые для основной массы обычных растворов кристаллических тел, устанавливаются – если только устанавливаются – в сложных условиях земной коры только в геологические периоды.

156. Для того чтобы разобраться в этих явлениях, необходимо обратить внимание на следующее обстоятельство, которое вытекает из положений Негели–Веймарна.

1. Благодаря тем малым размерам, которые принимают мицеллы, проявляются в этих явлениях не те внутренние силы кристаллического сцепления (химические или электрические), которые главным образом изучаются в

кристаллографии, а силы кристаллические, векториальные, поверхностные (Вернадский, 1911).

В построения Негели и Веймарна надо ввести сейчас же поправку. Мицеллы могут быть аморфными и обладать свойствами жидких кристаллов. В том и в другом случае они лишены кристаллических решеток, векториальность в них выражена только в плоскостях. В природных золях и гелях эти формы мицелл не были констатированы, но ничто не указывает на их отсутствие. По-видимому, кристаллические мицеллы преобладают.

2. В мицеллах не наблюдается гидролитическая диссоциация на ионы, которая характерна для обычного раствора.

От мицелл есть все переходы в молекулы (и ионы?) и в мельчайшие мути. Одним их характерных признаков последних является их химическая неоднородность. В мицелле мы имеем один химический индивид – в частичках мути несколько.

4. Мицеллы отличаются, таким образом, от ионов и частиц мути не только размерами, но и своим внутренним строением: мицеллы – кристаллы одного соединения или смеси одинаковых кристаллов или аморфные или смектитовые структуры; ионы – осколки химических соединений; частицы мути – смесь разных химических тел (кристаллов).

5. Переход мицеллярной структуры в ионную неизбежно вызывает стремление придавать мицеллам такую структуру, которая бы в пределе приводила к ионной структуре: по мере уменьшения размеров мицелл коллоидный раствор превращается в обычный химически однородный раствор. В то же время, со времен работ Негели и Веймарна и даже более поздних Амбронна наши представления о строении кристалла изменились в столь высокой степени, что из отождествления мицеллы с мельчайшим кристаллом вытекают не подозревавшиеся раньше следствия. Кристаллы, особенно в мельчайшем раздроблении, являются телом активным в области частичных сил. Эта активность проявляется в электрических явлениях, в существовании вокруг тела электрического поля, в исходящих от него электрических силах векториального характера. Силы кристаллические суть силы электрические, а отвечающие им векторы различны по своей величине в занятом кристаллом пространстве и охватываются принципом симметрии. В то же время, помимо кристалла в целом (его кристаллической сетки), должны проявляться и его составные части – атомы и электроны, в определенных типах кристалла обладающие характером ионов, т.е. несущие заряды и могущие приходить в движение.

Совершенно ясно, что создание теории коллоидного состояния материи требует новых представлений, отвечающих природе этих явлений. Для этого прежде всего надо связать достижения новой кристаллографии, определяющей свойства мицелл, с теоретическими представлениями о коллоидах. Только в определенном классе кристаллических сеток, например, могут существовать электрически заряженные ионы.

Эти соотношения не разработаны, – научной теории еще нет. Можно отметить все же некоторые факты, которые кажутся сейчас точно установленными. Во-первых, мицеллы всегда, а может быть часто несут заряды, но все одного знака – при данных условиях. Нельзя сомневаться, что и частицы мути могут быть заряженными. Однозначная электричность мицелл имеет

огромное значение, так как не дает им возможности собираться в группировки больших размеров.

На основании заряда мицелл коллоиды являются положительными (с зарядом +) и отрицательными (с зарядом –). И те и другие в виде золей существуют в биосфере. Выводы из этих их состояний далеко еще не сделаны.

Многие думают, что существование таких систем не может являться устойчивым, если одновременно нет еще иной формы выделения зарядов. Этим вызываются представления о том, что мицеллы выражают только одну сторону явлений. По мнению, например, В.Я. Курбатова (1925) – и еще раньше него Дюкло, – в коллоидных структурах, помимо мало подвижных при диффузии видимых в ультрамикроскоп частиц, существуют быстро подвижные ионы из немногих атомов, как Na^{+} , K^{+} , Cl^{-} , H^{+} , OH^{-} и т.п.

6. Вода не относится к мицеллам и к мутям (а также и к ионам) как инертная среда. Она дает гидратные образования, по-видимому, связанные с химическими процессами и с неизбежной одновременной ее диссоциацией на ионы H^{+} и $(\text{HO})^{-}$. Гидратные формы мицелл характерны для так называемых (Г. Крюи, 1922) гидрофильных золей. Коллоиды противоположного характера называются гидрофобными. Гидрофобные золи могут наблюдаться только в пресных водах, так как они свертываются при концентрации ионов растворов; гидрофильные устойчивы и в рассолах.

7. Размеры мицелл колеблются и пределах 10^{-5} – 10^7 см диаметром; размеры ионов 10^{-7} – 10^{-8} см. Размеры мельчайших мутей достигают в минимальном пределе 10^{-5} см¹.

157. Природные коллоиды дают целую гамму разнообразных тел, начиная от разведенных золей, где процент мицелл является ничтожной примесью, причем в огромном большинстве случаев такие золи на первый взгляд не отличимы от простой воды или водного раствора, и кончая телами студенистыми, полужидкими, внешне твердыми, в которых вода составляет по весу меньшую часть (гели).

Чрезвычайно характерным и основным свойством коллоидов является их способность выделять более бедные водой сгустки – свертываться.

Свертывание коллоидов наблюдается в природе в огромных размерах и представляет грандиозный процесс, идущий в морских гязях, в термальных источниках, в пресных и в соленых водах, в почвах, подпочвах, осадочных породах и т.п. Он может быть рассматриваем как электрическое проявление частичных сил.

158. Вода в золях и гелях находится по крайней мере в трех формах.

Во-первых, часть ее представляет растворитель. Но помимо этого она входит в состав мицелл.

Здесь она может находиться в двух состояниях: частью в чисто химической связи – в виде гидратов, частью в физическом состоянии – волосном (гигроскопическом) – прилипанию, обволакивая тонким слоем (§ 11) мицеллы. Это последнее состояние воды совершенно неизбежно при соприкосновении:

твердое тело \rightleftharpoons вода,

причем твердым телом является каждая мицелла.

¹ Из аналогичных мутям других компонентов (см. § 203) природным раствором мельчайшие организмы дают тела диаметром 10^{-3} – 10^{-6} см.

Мы не умеем сейчас разделять эти формы воды, но существование в мицеллах разных форм воды не может возбуждать сомнений. В гелях количество химически или физически связанной воды увеличивается за счет воды капельножидкой – растворителя.

Вода гигроскопическая и растворитель коллоида – являются всегда *рас-твором*.

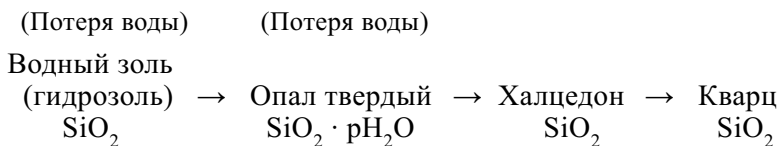
159. Очевидно, в золях преобладают свойства господствующего растворителя. Золи воды называются *гидрозолями*. Это господствующий в земной коре тип коллоидов.

Гели в воде (например, гели морских грязей, источников, влажных почв) образуют динамические равновесия; они могут в ней «растворяться», давать золи (обратимый процесс) или меняться, поглощая или отдавая часть воды. Гели «стареют» и теряют способность «растворяться» (необратимый процесс).

На воздухе и в газообразной среде, хотя бы влажной, процесс «старения» гелей и переход их в бедные водой тела идет быстрее. Он, однако, имеет предел, дальше которого идет очень медленно, становится с обыденной точки зрения незаметным.

Однако в течение долгого – исторического и геологического – времени переход идет до конца, совершается молекулярный процесс, приводящий в конце концов к уходу воды, к распаденю исходного тела и к явной кристаллизации мицелл. Очень ярко это сказывается, например, в гелях кремнезема. Выпадая из разведенных золой кремнезема (отчасти свертываясь под влиянием органического вещества) в форме студней, вернее студнеобразных, хлопьевидных выделений, в относительно короткое время (может быть, столетия) сгустки кремнезема, обедняясь водой, превращаются в твердые опалы, которые в геологическое время превращаются в халцедоны и затем, путем дальнейшей перекристаллизации, переходят в кварцы.

Весь процесс может быть выражен следующей схемой:



Можно явно проследить этот процесс, так как самые древние опалы – бедные водой – не заходят за пределы середины третичной эры (т.е. десятка миллионов лет).

Потеря воды коллоидными образованиями биосферы в более глубоких частях земной коры, проходя стадию гелей, есть общее, широко распространенное явление, как мы увидим ниже. Соединения Si, Al, Mg, Fe, Mn, Ni и т.п. дают многочисленные примеры этого рода.

160. Кристаллизация геля начинается обычно значительно раньше, и мы, может быть, имеем здесь значительно более сложное явление, чем обычно это считается. Дело в том, что, теряя воду, гели очень часто превращаются не в кристаллическое, а в аморфное состояние.

Природа аморфного состояния нам неизвестна, и мы сталкиваемся здесь с невыясненным опытом состоянием вещества.

Вполне вероятно, что при уменьшении размеров мицелл и при их выпадении и полном высыхании не создается для них возможности проявить свое внутреннее векториальное строение, т.е. обычную кристаллическую сетку, и получаются плотные массы, состоящие исключительно из *тончайших поверхностных пленок кристаллов*, в каждой из которых векториальность может проявляться только в пределах одной плоскости. Векториальность в пространстве неоднородна и зависит от положения в нем кристаллической пленки и дисперсных мельчайших сеток мицелл.

Этим ли или другим путем можно объяснить строение аморфных тел, несомненно одно – в них на первое место выступают не векториальные явления кристаллических решеток.

Это – как бы мицеллы, потерявшие своего растворителя – водный раствор.

Аморфные тела, однако, могут заключать воду потому, что, во-первых, мицеллы могут содержать и химическую и растворенную воду, а во-вторых, – аморфные свойства могут создаваться в гелях в процессе дегидратации, аналогично происходящей при этом кристаллизации. Вода, удерживаемая в этих случаях в аморфном теле (например, карбонаты – гургофиан и др.), – есть вода, раствор, оставшийся от растворителя золя.

161. К аморфным телам должны быть отнесены и некоторые *стекла*, строение которых в общем, однако, должно быть более сложным и сейчас не охватывается нашими физическими моделями.

В истории природных вод являются представителями стекол многочисленные вулканические стекла, иногда образующие большие массы.

Их образование связано с застыванием магм и лав при сложной химической обстановке, теория которой нам сейчас неясна.

Вода, ими захватываемая – ювенильная и фреатическая, – это обычно раствор (химически неизученный), в момент застывания переполненный газами.

Допустимо, что в магматической области наблюдаются такие же стекла – плутонические – бедные водой.

162. Образование гелей – свертывание природных гидрозолей, очень богатых водой, – является одним из основных процессов биосферы.

Огромная часть ее вещества входит в эти динамические равновесия и постоянно находится в миграционном процессе в связи, главным образом, с дегидратацией, со старением гелей.

Мы увидим, что все эти процессы разно идут в области океана и в области суши (§ 165 и сл.).

В обоих отделах биосферы коллоидные явления, теснейшим образом связанные с водой, принимают особую форму в проникающем их *живом веществе*.

Значение коллоидов для жизни так велико, что нередко преувеличивалось, и в свойствах коллоидов искали и ищут объяснения свойств жизни.

В геохимическом эффекте жизни – в отражении воды, находящейся в живом веществе в окружающей среде, – свойства ее коллоидального состояния резко выступают на первое место.

Коллоидальная вода – золи и гели – организмов находится в непрерывном контакте, обмене вещества, с коллоидальной водой биосферы.

Золями являются и протоплазма (богатая гелями) и все жидкости организмов (§ 117), ими являются почвенные, донные, грязевые воды, переполненные жизнью. Гелями образована значительная часть скелетных частей организма. Наконец, в форме зольей, а частью гелей, выделяется значительная часть жизненных отбросов, органических веществ, выделяемых организмами при процессах метаболизма (при переваривании пищи, выделении слизи и т.п.), при отмирании и потере частей организма, при умирании организма.

Можно сказать, что вся биогенная миграция прямо или косвенно идет в значительной мере в коллоидальной – водной – среде.

Ее продуктами – в форме органических веществ – захвачены все природные воды, в том числе вода океана, во всем ее объеме.

В виде гелей и зольей часть атомов, бывших в биогенной миграции, выходит из жизненного цикла и в виде самых разнообразных тел – битумов и углей в частности, – связанная с водой, она проникает путем геологических процессов за пределы биосферы.

163. Как уже указывалось (§ 156), коллоидные явления теснейшим образом связаны с явлениями электрическими и, может быть, в основе являются проявлениями электрических полей, характеризующих так называемые частичные силы. Изучение природных тел в этом аспекте, если бы оно могло быть сейчас прочно экспериментально поставлено должно было бы иметь очень большое значение для истории природных вод, связь с которыми и других более грандиозных электрических свойств планеты очень ярко выражена (§ 9). Вероятно, природные воды являются самой большой природной планетной областью таких электрических явлений и в микроскопическом разрезе природного вещества.

Но сейчас мы еще далеки от выражения коллоидных явлений природных вод электрическими моделями. Это дело, по-видимому, недалекого будущего.

Вследствие сложности состава природных гидрозольей чрезвычайно трудно переносить на них лабораторные результаты, имеющие дело с очень простыми, редко наблюдаемыми в природе случаями. Это можно делать почти исключительно только для немногих отдельных минералов, образовавшихся свертыванием зольей.

При малой изученности больших коллоидных процессов природы – морской воды или почвенных растворов – приходится сейчас ограничиваться немногими замечаниями о процессе, несомненно имеющем место в природе, но ускользающем от научного анализа.

Нахождение в каждой воде ионов H^{1+} и $(HO)^{1-}$ должно отражаться на мицеллах, которые, судя по опытам с чистыми золями, разно притягивают ионы воды, и может быть этим обуславливается их электризация.

В отличие от диэлектрической диссоциации растворов все мицеллы данного гидрозолья, как мы видели, электризованы одинаково: одни – притягивают HO^{1-} (?), другие – притягивают H^{1+} (§ 156).

Но это касается чистых гидрозольей с мицеллами одинакового состава, когда можно различить положительные и отрицательные гидрозольи. Иное может наблюдаться в природных условиях, где одновременно могут существовать разнообразные мицеллы.

Так ли это или нет – сейчас утверждать нельзя.

По аналогии с чистыми водными растворами это очень вероятно.

Отталкивательными силами одноименно заряженных мицелл объясняется сосуществование мельчайших частиц, не свертывающихся в большие клубки в тонких золях. Это, очевидно, должно иметь место, например, в океанических водах.

Явления этого порядка должны иметь еще более сложный характер в природных водах, всегда радиоактивных.

Эти воды – особенно воды суши и морей – все пронизаны излучениями, связанными с радиоактивным распадом.

Характерно, что радиоактивные излучения различно действуют на положительные и отрицательные гидрозолы. Гарди (1903) первый отметил, что β -излучения свертывают положительные гидрозолы и укрепляют отрицательные. Кроуфорд и его сотрудники (1927–1930) подтвердили то же самое для X-лучей (т.е. γ -лучей).

Нельзя упускать из виду вероятное неизвестное нам проявление в области этих явлений космических излучений, проникающих все водные бассейны земли на глубину по крайней мере 275 м.

Область этих явлений только начинает вскрываться.

164. По отношению к менее дисперсным, чем золи, явлениям – к *мутям* – помимо электрических свойств тончайших мельчайших частиц – их «зарядов» – имеют значение уже силы иного порядка, ставящие предел величины взмученных частиц.

Ввиду того, что вся биосфера переполнена движущимися водами и в то же время под влиянием явлений жизни, химических процессов, ветра, самой текучей воды и т.п. вещество суши расплывается и раскалывается, – все природные воды вплоть до океанической воды переполнены мутью. Наименьшие размеры плавающей мути определяются неизбежным образованием сгустков под влиянием броунова движения жидкости, объясняемого движением молекул воды, или под влиянием падения смоченных частиц мути под влиянием тяготения (ортокинетические движения Г. Вигнера). Частички мути сталкиваются и сцепляются – свертываются. Ортокинетическая коагуляция преобладает в своем проявлении в мицеллах и в частицах мути, достигших уже значительной крупности (для глины 10^{-4} см радиуса). Она, однако, уже прекращается, когда крупность превышает $5 \cdot 10^{-3}$ см. Мелкие кварцевые частицы меньше $4 \cdot 10^{-4}$ см радиуса неизменно притягиваются большими ($5 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}$ см радиуса) и выпадают из водного псевдораствора. Для глин при этом не образуется частиц большего размера (радиусом), чем $2 \cdot 10^{-3}$ см, но частицы меньше 10^{-3} см все исчезают, притягиваются большими (П. Торуля, 1927).

Эти невидные на первый взгляд процессы создают огромные участки своеобразного вещества планеты – биосферу и стратисферу в частности – почвы и морскую грязь, осадочные породы.

Процессы осаждения мути идут резко различно в пресных и в соленых водах; при вхождении переполненных взвешенной мутью пресных речных вод в соленую воду морей и океанов большая часть мути немедленно оседает в соленой воде. Но более мелкая муть входит и в морскую воду, нацело ее проникая. Муть создается вновь – жизнью – в океанической и в морской воде, вносясь в нее ветрами.

О коллоидных процессах в разных геосферах

165. Чрезвычайно характерно, что коллоидные процессы сосредоточены в определенных земных оболочках. Они являются характерными для биосферы, причем они наиболее резко выражены в веществе *коры выветривания*, как это подчеркнул для гелей Л. Корню (1909), развивая идеи И. Брейтгаупта (1847), менее резко – в гидросфере.

В стратисфере, по крайней мере в верхних ее частях, они выражены ярко, постепенно заходя за пределы биосферы.

По-видимому, они сходят на нет в верхней части метаморфической оболочки.

В области метаморфизма местами встречаются коллоидные тела, которых вода не является растворителем.

По-видимому, в глубоких частях гранитной и базальтовой оболочек, как это указывает Р. Дэли (1924), мы должны встретить как господствующее состояние вещества своеобразные формы коллоидов в виде горячих, содержащих воду, кремнеалюминиевых стекол (§ 170).

166. В *гидросфере* коллоидные явления в общем не выражены резко.

В общей массе морской воды коллоиды (золи) отступают на второй план; их мицеллы мало заметны по сравнению с водными ионами. Вода эта проявляет коллоидные свойства только в областях, где находится большое количество живого вещества – в живых сгущениях и живых пленках. Здесь биохимически попадают в морскую воду многочисленные органические соединения, дающие золи.

Придонная вода ими проникнута, и они охватывают те природные гели, которые характерны для морских грязей.

К сожалению, для этих вод, покрывающих огромные площади океана, нет анализов и нет изучения их физических свойств, как нет и для других форм богатых коллоидными процессами морских вод.

Такой является, во-первых, *грязевая (иловая) морская вода*, проникающая грязи морского дна. Это – вода, аналогичная почвенным водам, в главной своей массе в отличие от почвы являющаяся восстановительной средой. Она заключает в коллоидном растворе многочисленные органические вещества, и в ряде случаев в ней выделяются гели химического и биохимического происхождения, среди которых имеет, по-видимому, большое распространение сернистое железо.

167. Другую форму тех же зелей и гелей представляет та морская пена, которая и по своей форме и по своему составу составляет своеобразную форму природной воды и в общем ходе геохимических явлений не может быть оставлена без внимания.

Теоретически неизбежное значение этих образований не установлено эмпирическими наблюдениями. То немногое, что нам известно, указано ниже.

Здесь же необходимо отметить, что в природной водной пене одновременно идут два процесса: с одной стороны, газовая эмульсия водного раствора, богатого солями жирных кислот (мылами), и, во-вторых, эмульсия жиров в воде и обладающие кислым характером суспензии (например, частички кварца (песок), углистых веществ и т.п.). Эти эмульсии и нечистоты сливаются; «грязь» собирается в пене.

В природе эти явления производятся жизнью; остатками их являются и углистые вещества, и жиры, и жирные кислоты.

Мы можем пока только догадываться о значении этих явлений в природных процессах генезиса минералов и искать их проявлений. То огромное значение, которое они приобрели за последнее десятилетие в рудной технике, явно указывает на существование пропущенных научной мыслью природных их проявлений.

168. От водных природных зелей есть все переходы к тонким механическим структурам аналогичного характера, которые представляют обычное загрязнение всякой природной воды. Обычно эти мути не меняют химических свойств воды – однако, как мы знаем, их присутствие играет огромную роль в истории поверхности планеты и отражается в грандиозных геологических явлениях. Этим путем сносятся континенты, образуются осадочные породы, создается морская грязь, поддерживается жизнь организмов например, диатомовых, морского планктона (Мёррей, 1890). В тех случаях, когда частицы мути (суспензий) достигают большой тонины (порядка 10^{-4} – 10^{-5} см и меньше), свойства таких механических мутей становятся неотличимыми от свойства зелей, а когда количество частиц по сравнению с водой становится большим, – мы имеем переходы к гелям.

Есть участки океана – главным образом его моря, омывающие континенты, – где мути и золи, происходящие от разрушения суши, играют особую роль и вызывают, в частности, скопления жизни, принося ей в огромном количестве питательные вещества.

169. Для суши характерны *гели*.

В этой форме почти твердых и полутвердых, студенистых и полужидких тел собирается *в коре выветривания* на суше огромное количество воды.

Существование этих тел является характерным свойством наружной оболочки земной коры – биосферы.

Гели покрывают всю поверхность нашей планеты почти непрерывным покровом, так как они составляют основную часть соленых и пресных грязей и наземных почв, проникают подпочвы. Им отвечающие образования мы имеем в болотах, торфяниках, верхних частях разнообразных осадочных и частью выветрившихся горных пород. Они являются характерными продуктами поверхностного выветривания и должны находиться в генетической связи с подпочвенными растворами.

На поверхности биосферы они отсутствуют только в снежных приполярных и горных участках, в песчаных и щебневых пустынях.

Для этих гелей мы имеем все переходы, начиная от полужидких, студенистых масс и кончая совершенно твердыми телами, в которых вода является все менее преобладающей частью. В конце концов, она сходит на нет и приобретает свойства воды пленчато-капиллярной (§ 11) или химически связанной.

Тело коллоидное переходит в тело твердое аморфное, в свою очередь переходящее с ходом времени, при колебании температуры и давления той среды, в которой оно находится, в тело кристаллическое. Иногда кристаллизация идет непосредственно из геля (§ 159).

По мере того, как эти коллоидные и аморфные тела, вследствие тектонических смещений в ходе геологического времени, выходят из биосферы и по-

падают в более глубокие слои, с увеличением давления или может быть просто под влиянием геологически длительного времени (старение – § 159), – они неизбежно превращаются в тела кристаллические.

В осадочных породах, особенно геологически новых, мы еще наблюдаем коллоиды и аморфные тела, богатые водой, в нижних же слоях и в еще ниже лежащей метаморфической геосфере – они уже перешли в кристаллические образования.

Еще ниже, при дальнейшем метаморфизме, они теряют воду и переходят в кристаллы безводные или бедные водой.

170. От этих коллоидных образований, связанных с поверхностными водами, должны быть отличаемы богатые водой *стекла*, образующиеся при быстром застывании вблизи от земной поверхности вулканических магм, богатых водой, поднявшихся снизу (§ 161). Эти стекла не могут быть вполне отождествляемы с коллоидами и являются особой формой твердого состояния материи, аналогичного аморфным телам.

Количество воды в таких вулканических стеклах достигает 25%, обычно меньше.

С ходом геологического времени и при перемещениях в более глубокие слои, эти стекла также перекристаллизовываются, как гели, и при дальнейшем ходе времени и давлении обедняются водой или совсем ее теряют.

Если подтвердится представление, высказанное впервые Дэли, о нахождении стекловатой силикатовой оболочки в ювенильных областях, в области больших давлений, – эти основные и, может быть, кислые стекла неизбежно должны заключать воду. В таком случае этот тип воды, близкой к коллоидальной, окажется чрезвычайно распространенным и важным в строении нашей планеты для нижних геосфер ее земной коры.

Волосные природные воды и пленки поверхностного натяжения

171. Другой формой проявления тех же частичных сил является поверхностное натяжение природных вод, играющее очень большую роль в процессах земной коры. Обычно учитывая его в частности, мы не охватываем его в научной работе целиком.

Можно выделить в истории воды две формы этих явлений. Во-первых, *поверхностные пленки и, во-вторых, волосные формы* нахождения воды.

В поверхностных пленках мы встречаемся со сложными явлениями, частично выводящими нас из области явлений, свойственных *растворам*, и приводящим к явлениям, которые Ф. Ринне были выделены недавно в область *паракристаллических* явлений, – в частности к закономерному распределению на поверхности воды молекул жидких тел, чуждых ей и с нею не смешивающихся. Эти явления резко выражены иногда в поверхностных пленках жидких масс в тех случаях, когда мы имеем дело с однородными нерастворимыми в воде телами. Таковы, например, жирные пленки, столь часто наблюдаемые на поверхности природных вод: в них собираются жирные кислоты и их соли, причем они располагаются на поверхности воды, под влиянием ее и своих частичных сил, слоем в одну молекулу толщиной, причем все молекулы жирных кислот и их солей расположены так, что длинные векторы молекул становятся перпендикулярно к границе между жидкими жирными кислотами (и их солями) и жидкой водой. Эти представления, впервые введенные

И. Лангмюром (1917) и независимо от него Б. Гаркинсом (тогда же), сейчас подтверждаются многочисленными фактами и вызывают новые проблемы. Пленки эти не проникают в природные растворы, не дают с водой раствора, а собираются на ее поверхности, и их правильное закономерное на ней распределение является аналогичным правильно ориентированному выделению кристаллов на кристалле другого вещества при кристаллизации.

Этот случай жирных пленок на водной поверхности является предельным случаем взаимодействия тел с водой, в котором резко проявляются свойства стороннего воде тела, но и молекулы воды на месте соприкосновения не остаются инертными; такое распределение молекул жирных пленок возможно только потому, что сами молекулы жидкой воды – ее поверхностной пленки – обладают особым геометрическим характером, – биполярны, как говорят.

Для природных вод, которые являются растворами, т.е. помимо молекул воды содержат сторонние H_2O молекулы, образование этих пленок может сильно отражаться на свойствах и на характере раствора. Это проявляется главным образом в тех местах и в тех случаях, когда области частичных сил захватывают значительную массу воды.

172. От паракристаллических пленок жидкостей надо отличать обычную пленку на поверхности всякого водного раствора; она по химическому составу отличается от массы раствора: при отрицательной абсорбции она менее солона, при положительной – концентрация ее больше.

Чем больше концентрация раствора, тем резче может быть различие между химическим составом самого раствора и его поверхностной пленки.

Подобно капиллярам и поверхностные пленки всегда очень тонки; их поперечный размер исчисляется немногими слоями молекул (т.е. $n \cdot 10^{-8}$ см), доходя до сотен молекул ($n \cdot 10^{-6}$ см). Даже в тонких пленках большей мощности поперечника мицелл ($n \cdot 10^{-5}$ – $n \cdot 10^{-4}$ см) водяной раствор явно проявляет необычные для жидкости свойства.

Эти особые формы жидкой воды проявляются как в виде незримой глазу наружной части водной массы, так и микроскопически являются «пленкой», например, в капиллярах, пене, тонком слое, покрывающем чуждые воде твердые тела, мощностью 10^{-8} – 10^{-4} см.

В областях скопления рыхлых масс, в почвах, в грязях, в илах, в осадочных породах, проникнутых водою (пластовые подземные воды стратисферы), по-видимому, огромные массы воды охвачены этой формой проявления частичных сил. Их неправильно называют почвоведы и гидрологи пленочными водами. Это *пленочные растворы*. Здесь спор не о словах, так как выводы из свойств пленочных «вод» не всегда совпадают с свойствами пленочных «растворов».

173. В земных условиях, в которых точки перехода воды из одного физического состояния в другое очень близки, поверхностные пленки можно рассматривать как плоскость разграничения равновесия:

жидкая вода \rightleftharpoons водяной пар,

находящуюся в динамическом равновесии.

Пленки неизбежно образуются на всякой водной массе на месте ее соприкосновения с воздухом. Поверхность Всемирного океана представляет такую единую постоянно существующую пленку. Чрезвычайно характерным

и малоизученным является состав этой океанической пленки и производимые ею эффекты. В пленке собираются посторонние воде вещества и в частности органические соединения, в том числе производные жирных кислот – продуктов жизни, вызывающих указанные раньше (§ 171) структуры. Здесь собирается пыль, распределяются особые мельчайшие организмы, своеобразная жизнь, усиливающая и определяющая миграцию химических элементов.

Эти явления не менее, если не более интенсивно выражены на поверхности водоемов суши. Здесь они вызывают иногда и особые явления.

В природных *рассолах* в такие пленки из воздуха попадают зародыши кристаллов, и обычно с них начинается кристаллизация самосадочных озер.

Образование морской, речной, озерной *пены* тесно связано с пленками поверхностного натяжения и является следствием движения воды. На место собравшейся в пенистую массу поверхностной пленки немедленно образуется на поверхности воды новая.

В пленках при замерзании начинается выделение кристаллов льда, и в стоячих бассейнах, например, озерах ясно можно проследить, что эти кристаллы правильно располагаются к поверхности пленки – вертикальные оси их перпендикулярны поверхности (оси. L^3).

174. Мы уже видели то значение, которое имеют частичные силы воды на границе ее соприкосновения с твердым состоянием материи. Немедленно образуются при этом своеобразные равновесия:

воды \rightleftharpoons твердые тела,

и вода расслаивается на разные области (§ 11).

Здесь надо к раньше сказанному сделать еще несколько замечаний.

Значительная часть почвенных растворов состоит не из капельножидких сгущений воды, а из пленок, обволакивающих рыхлые элементы – песчинки и т.п. – или перекинутые между ними. Движение таких вод отвечает такой структуре и подчиняется особым законам, отличным от капельножидкой воды.

То же явление наблюдается и для больших масс подземных вод биосферы и стратисферы. Они под давлением прорывают насквозь рыхлые породы и не могут быть рассматриваемы как капельножидкие массы.

Характер газовых растворов в таких пленках неясен – отсутствуют опытные исследования, но очевидно все свойства таких скоплений воды должны отвечать поверхностным натяжениям, и на них нельзя без поправок, иногда очень основных, переносить выводы, полученные изучением капельножидких масс.

Уже здесь и в почвах проявляются и другие свойства поверхностного натяжения – свойства волосные в собственном смысле, движения воды в узких пространствах.

Природные воды – это природные растворы, но строение и свойства этих водных растворов различны в тех расслоениях, какие образуются в твердой среде, проникнутой водою. Слои воды гигроскопической (§ 11), обволакивающей частицы твердого тела, капельножидкой и пленочной в одной и той же массе воды должны быть физически и химически различны.

Учитывая это положение как эмпирическое обобщение, – нельзя, однако, сейчас дать ему точное количественное выражение.

Вода пленочная и гигроскопическая при уменьшении размеров твердых частиц, рассеянных в воде (§ 204), переходит в воду – раствор – коллоидную с новыми свойствами.

175. Нет ни одного земного твердого тела в биосфере и в стратифере, по-видимому, и в метаморфической земной оболочке, которое не содержало бы волосной воды. Для метаморфической оболочки несомненно, что застывшие в ней массивные породы, а также образовавшиеся в ней контактные, жильные и пегматитовые минералы содержат воду в волосных состояниях, вероятно, первичную. Кажется не противоречащей фактам выходящая за их пределы гипотеза, что *все твердое вещество верхней части нашей планеты проникнуто насквозь волосной водой*. Можно рассматривать каждый кусок земного твердого вещества как губчатую массу, чрезвычайно тонкие стенки которой состоят из волосной воды, а в «пустотах» губки на ходится твердое вещество. Губчатая масса чрезвычайно тонка, – ее стенки незримы невооруженному глазу, и вещество, ею охваченное, несмотря на неоднородность, кажется однородным при обычной точной методике микроскопического опробования. Лишь особыми приемами в редких случаях проявлялось микроскопически такое строение.

Вода находится в мельчайших пустотах и трещинах, невидных глазу. В горных породах такие трещины могут занимать до 50% по объему; в гранитах 0,2–0,5%, в плотных известняках 0,55% (по Ван Хайзу). Ван Хайз различает капиллярные пустоты $5,08 \cdot 10^{-2}$ – $1,0 \cdot 10^{-5}$ см и субкапиллярные, размерами от $1,0 \cdot 10^{-5}$ – $2,0 \cdot 10^{-6}$ см.

Учитывая, что в подавляющих по весу массах твердого земного вещества, например, в массивных породах, весовое процентное содержание воды, уходящей ниже 105–110 °С, равняется 0,1–3,5% и даже больше (до 8% по Ван-Хайзу), – можно получить ясное представление о масштабе явления. Эти числа дают понятие только о минимальном его пределе, ибо волосная вода обычно удаляется выше 110 °С и, например, для кварцевого песка такая вода (пленочная) в последних следах уходит при 500 °С. Масса волосной воды сравнима по меньшей мере с массой воды океана. При 1% ее в массивных породах мы получаем числа порядка 10^{23} г (вес морской воды – $1,4 \cdot 10^{24}$ г).

176. Такой характер земного твердого вещества, выделяющегося в крупных массах или в ничтожных мелких неделимых, объясняется частью его происхождением, частью исключительным положением воды в земной коре, частью физико-географическими и геологическими условиями его существования. Именно в результате этого получается явление, напоминающее радиоактивность земного вещества. Все твердое вещество проникнуто радием, все радиоактивно, и все оно содержит волосную воду.

Эта волосная вода обычно учитывается в анализах как *гигроскопическая, химически чистая* вода, что очевидно неправильно. Она должна отвечать природным *растворам*, в виде которых находится в той среде, в которой существует или образуется твердое земное вещество. В форме волосной воды должны наблюдаться рассолы, соленые и пресные воды, воды разных подклассов, т.е. разного газового состава. К сожалению, сейчас нет ни одного анализа волосных вод. Задача не разрешена даже методологически; неизвестно, как отличить *водную вытяжку волосной воды от растворяющего действия воды, вытягивающей волосную воду, на твердый минерал, или породу*.

Химический состав волосной природной воды обуславливается: 1) составом той маточной, первичной воды, в которой шло выделение данного твердого тела, 2) составом той природной воды, которая с ходом времени или в момент образования земного твердого тела в него проникла, и, наконец в 3), теми изменениями, которые произошли в этой воде с течением времени или в момент образования твердого тела в связи с действием поверхностных натяжений или же под влиянием воды окружающей твердое тело внешней среды.

Изучение остаточной, «первичной», волосной воды должно дать важные указания для истории воды; но область этих явлений научно почти не затронута.

177. «Первичная» волосная вода не единственная.

Волосная вода в значительной части поверхностных частей пород, в рыхлых породах и т.п. подвергается дальнейшим изменениям под влиянием воды окружающей ее среды. На месте соприкосновения твердого вещества с газовой или водной средой должно идти проникновение всего тела новой водой или новыми газами и изменение первичного волосного раствора.

Это проникновение вод, не связанных с генезисом твердого тела, идет в огромном масштабе всюду в биосфере, в стратиффере и глубже, где только происходят какие бы то ни было механические и термические, а частью и химические изменения, связанные с образованием пустот, трещин, изменений объема. С ходом геологического времени этот процесс идет всюду, и именно он вызывает проникновение волосной водой всякого земного твердого тела.

Несомненно, но совершенно не исследовано то, что уже внутри твердого тела должно происходить новое химическое изменение волосной воды под влиянием частичных сил. Может быть в связи с этим происходит выпадение из раствора части «растворенных в воде» соединений, как это мы видим на земной поверхности (например, в солонцах). Но об этих больших процессах мы почти ничего не знаем.

Однако уже давно известны опыты (Ф. Гоппельсредера и др.), приведшие даже к новым приемам качественного анализа, которые указывают, что, входя в капилляры, раствор меняет свой состав, нередко очень резко. Это явление должно играть огромную роль в природе как в составе почвенных вод, так и волосных вод горных пород. Его выяснение есть задача дня. Опыты Б.Б. Польшова и его помощников (Б.И. Философова и др.) устанавливают это явление для почв в условиях, близких к природным.

Это все процессы, играющие значительную роль при метаморфизме, которые начинают уже проявляться в стратиффере; они получают первостепенное значение в метаморфической области.

Вся область явлений, связанных с волосной водой, почти не охвачена действенной научной мыслью и только что начинает подвергаться исследованию и выдвигать научные проблемы.

178. Все же необходимо уже сейчас выделить некоторые из вод, находящихся в этом состоянии или с ним связанных. В осадочных породах в стратиффере находится, нередко может быть вода, которая получила у геологов название *ископаемой морской воды*. Она осталась в осадочной породе со времени ее грязевого выделения на дне бассейна морского, океанического, реже пресноводного или соленого бассейна суши.

Обычно эту «ископаемую» воду сравнивают химически с водой того бассейна, откуда она может происходить.

Такое сравнение неверно.

Эта вода не является водой того бассейна, из которого отлагались осадочные, например, морские осадки, а является переработанной диагенезом (метаморфизмом) *грязевой* (иловой), может быть, *донной* водой тех грязей (илов), которые превратились позже в осадочные породы. Но, к сожалению, полных анализов грязевой и донной воды даже современных бассейнов не имеется, нечего и говорить об ископаемой воде тех же донных образований.

Это – одна из важных доступных задач, стоящих на очереди: анализ современных, особенно морских, грязевых вод и «вод ископаемых» и их сравнение.

179. Другим типом волосных вод является волосная вода, получаемая *при замерзании растворов*. Здесь мы имеем как бы второй случай равновесия двух фаз воды. Пленка поверхностного натяжения отвечает равновесию:

жидкая вода \rightleftharpoons водяной пар,

причем она неизбежно будет образовываться и для химически чистой воды и для раствора.

Волосные воды при равновесии:

водный жидкий раствор \rightleftharpoons лед

будут неизменно образовываться при замерзании природных растворов, причем совершенно безразлично, будет ли то пресный или соленый раствор, который явится исходным.

В огромном большинстве случаев исходным является пресная вода.

Такая волосная вода (раствор) образуется в тех случаях, когда она остается внутри масс льда, образовавшегося при замерзании. При застывании лед *очищается*, и в остающемся маточном растворе (волосном) концентрируется часть компонентов, которые *были* в водном растворе. Они остаются в жидком состоянии – в соляном растворе – при температуре замерзания льда, ибо точка замерзания концентрированных растворов ниже точки замерзания чистой воды.

Недавно Г. Тамман (1928) показал, что таково строение *глетчерного льда*. Каждое его зерно покрыто волосной пленкой водного раствора – эвтектического раствора, образовавшегося из пресной дождевой воды, обладающего очень низкой температурой замерзания (ниже $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Очевидно, другой вид таких же волосных вод другого химического состава должен образовываться при замерзании *всякого льда*.

180. Губчатая, пространственная сеть волосной воды, проникающей все твердое земное вещество, генетически связана еще с другим явлением, отражающимся в истории природных вод более глубоко, чем мы себе это представляем.

Очевидно, раз только размеры волосных пустот трещин достигнут больших размеров, проникший в них раствор в некоторой своей части должен перейти в капельножидкое состояние, должно создаться равновесие молекулярно- и капиллярно-пленчатых и капельножидкой вод, о котором столько раз говорилось (§ 11).

В таком случае получаются жидкие (водные) *включения* в породах, которые во многих случаях проникают всю массу породы. Главная часть этих включений находится в распыленном состоянии, в виде незримых простому глазу *микроскопических пор*. Эти поры, по-видимому, частью совершенно замкнуты, частью соединены с волосными трещинами, попадают в губчатую волосную водную массу.

Значительная часть природных водных растворов находится в таком распыленном виде, – какая – мы не знаем. Те числа, которые приведены выше (§ 175), относятся одновременно как к воде волосных пустот, так и к воде включений.

Ниже мы встретимся с своеобразными типами некоторых водных включений, к сожалению, очень мало химически изученных.

4. Природные водные растворы

Общие данные

181. Так становится ясным, что природная жидкая вода не представляет инертной материальной среды.

Это среда активная. Она переполнена проявлениями свободной энергии.

Это мы видим и в воде, входящей в состав организмов, и в воде коллоидов. Это мы видим еще более сильно при проникновении всякой природной воды жизнью.

Но эта среда активна сама по себе. Активна химически чистая вода, ибо вода состоит из молекул разного рода. Позже я еще вернусь к этому явлению, сейчас же нужно только отметить, что вода дает молекулы разного состава от $(\text{H}_2\text{O})^1$ до $(\text{H}_2\text{O})^6$ ¹, причем, по-видимому, в обычной воде преобладают молекулы $(\text{H}_2\text{O})^2$.

В зависимости от условий окружающей среды, от температуры и давления, например, количество разных молекул меняется, – чистая химически вода является физической смесью, дающей динамические подвижные равновесия.

Сложность молекул воды сказывается и при переходе ее в твердое состояние. Ячейка кристаллической сетки воды состоит из $(\text{H}_2\text{O})^4$.

Вероятно, в связи с этой сложностью молекулярного строения воды, с ее физической неоднородностью, в ней развиваются явления – силы, к которым мы можем подойти, изучая электрические свойства воды. И в химически чистой воде мы должны допустить существование диэлектрической диссоциации, непрерывное распадение некоторых – определенного числа – ее молекул на ионы H^{1+} и HO^{1-} и их воссоединение. И здесь существует особое динамическое равновесие.

182. Активный характер воды при термодинамических условиях земной коры сказывается прежде всего в разнообразнейших химических явлениях, с нею в земной коре связанных.

Как уже указывалось, эта химическая активность природных вод в биосфере в частности и во всей земной коре вообще приобретает огромное зна-

¹ Весьма вероятны большие молекулы.

чение в нашей планете в виду распространенности в ней природных вод и большой их массы. Она ставит эту группу минералов в особое положение.

С химической точки зрения можно различить три рода химических явлений, вызываемых водой в окружающей среде, непрерывно происходящих в земной коре.

Это будут, во-первых, такие химические процессы, в которых физические свойства воды для полученных путем этих процессов тел остаются в основном неизменными. Лишь более тщательное изучение позволяет отличать так химически измененную воду от воды химически чистой – во всех ее фазах: твердой, капельножидкой и газообразной. Такие относительно слабые химические изменения воды мы называем *растворами*, причем «растворы» для разных фаз имеют разную структуру. Общее для всех них: 1) то, что в таких химических соединениях молекулярная структура воды не нарушается, что все ее свойства – физические и химические – преобладают в новом соединении, закономерно, сильно или слабо, меняясь в зависимости от входящих в воду новых элементов (и их комплексов или соединений), 2) то, что отношения между молекулами воды и входящими в раствор другими элементами и молекулами не могут быть выражены стехиометрически. Это неопределенные химические соединения.

183. Другим химическим процессом являются такие изменения окружающей среды, в которых целые молекулы воды без разложения входят в твердые или жидкие сторонние воде тела.

Получаются соединения, принадлежащие к группе тел, которые удобно рассматривать как *молекулярные соединения*.

В данном случае мы имеем *гидраты*, явно химически очень различные тела (§ 309 и сл.).

С интересующей нас точки зрения их удобно рассматривать вместе и говорить об их образовании в природе как о процессе *гидратации*, подобно тому как для образования растворов мы говорим о *растворении*.

Гидратация есть процесс не менее мощный и обычный в земной коре, чем растворение.

Молекулы воды, образуя гидрат, могут давать с соединением, в которое они входят, стехиометрические числа и могут этого не давать. Эти последние тела иногда выделяют как растворы воды в твердом химическом соединении.

Для всех таких соединений характерно, что молекулы воды могут входить в гидраты и выходить из них в неизменном виде, не проявляя своих свойств, пока они находятся внутри гидрата. В гидрате связь между атомами Н, Н, О может быть иная, чем в молекулах воды, входящих в него при синтезе гидрата и выходящих из него при разложении гидрата. Я буду относить в эту группу химически разные тела – растворы воды в кристаллах или в аморфных телах и в гелях (например, вода в энстатитах – $\text{MgSiO}_3 + \text{aq}$), кристаллизационную воду (например, в гипсе $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), гидратную воду [например, в гётите $\text{Fe}_2\text{O}_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})$], воду конституционную, например, в кислых солях (например, в диоптазе CuH_2SiO_4), воду в боковой цепи алюмосиликатов [например, в клиноцоизите – $3\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$] и т.п. В химии планеты эти разнообразные формы соединений должны быть объединены, так как они являются результатом особых химических процессов, резко отделяющих их

от растворов. Это отличие заключается в том, что вода гидратов явным для нас образом не разрушает те твердые сторонние соединения, с которыми она соединяется.

184. Наконец, химическая реакция может вносить более глубокие изменения в молекулы воды. Она может быть связана с полным ее распадением, причем вода вновь не восстанавливается при разрушении полученного с ее помощью тела. Атомы водорода и кислорода воды входят в разные соединения, и в дальнейшей геохимической их миграции судьба их будет иная. Таково, например, образование органических соединений фотосинтезом в зеленых растениях при взаимодействии воды и углекислоты или образовании касситерита (SnO_2) и HF при взаимодействии SnF_4 и H_2O . Бесчисленны эти процессы *распадения молекул воды при химических синтезах* в химии планеты.

Как противовес этим явлениям разложения молекул воды, в земной коре происходят многочисленные и разнообразные *синтезы воды* идущие как между свободными водородом и кислородом, так и путем распада сложных кислородных и водородных соединений.

Нередко эти процессы бывают очень сложны, например, образование воды при процессах жизни, при «метаболизме» в живом веществе или при его сгорании. Таковы же образования воды при взаимодействии горячих газов во время вулканических или магматических реакций, например, при взаимодействии H_2S и кислорода воздуха, CO_2 и CO и водорода, и т.п. Такие реакции не менее обычны и одного или большего порядка по массе, чем выделение воды при биохимических процессах.

Так как все химические явления на нашей планете представляют устойчивые равновесия или ложные равновесия, одни и те же в ходе геологического времени, надо думать, что массы разлагающихся и создающихся молекул воды близки, отношение их равно или близко к единице. Ибо, пока мы не можем заметить изменения массы вод в земной коре в ходе геологического времени.

185. Из всех этих процессов особое значение имеют в истории природных вод процессы растворения, так как почти все минералы группы воды являются *растворами*. Химически чистая вода есть на нашей планете редкое и временное тело. Гидраты, образованные водой, входят не в группу воды, а в другие группы минералов.

Растворы в природной воде достигают сложности, нам недоступной в лаборатории, и только часть наблюдаемых в них явлений охвачена сейчас теоретической мыслью – может быть предвычислена.

Это всегда динамическое, подвижное, вечно меняющееся сложное равновесие.

Все изменения окружающей его среды в нем отражаются и его меняют. Но и сам раствор – сам по себе – меняет окружающую среду. Равновесия, на которые указывалось (§ 11 и сл.): природная вода \rightleftharpoons природные газы, природная вода \rightleftharpoons природное твердое тело, природная вода \rightleftharpoons организмы, отнесенные к природным растворам, ясно указывают, что раствор, каким является природная вода, меняет и природные газы, и все твердое вещество земной коры, и живые существа.

В долгом ходе геологического времени все тела растворимы – этот старый афоризм весьма вероятно отвечает глубокому эмпирическому обобщению.

Старинное обобщение алхимиков – *Corpora non agunt nisi soluta*¹ – очень ярко и точно выражает основную черту химии земной коры.

186. Природные растворы во многом отличаются от тел того же типа, изучаемых в наших лабораториях. Они отличаются прежде всего сложностью своего состава. Более 50 химических элементов, без сомнения, находятся в морской воде в разных нижеуказанных формах. Не вызывает сейчас у многих натуралистов-эмпириков сомнения, что, в той или иной форме, в океане – особой геосфере планеты – мы найдем все химические элементы; может быть однако это и не так. В каждом виде природной воды мы подходим к тому же сложнейшему типу раствора. Так, в независимой от океана, в значительной мере фреатической, воде минерального источника Виши, по мере лучшего исследования, количество входящих в нее элементов все увеличивается. Ж. Вильм (1894) знал их 17, сейчас (Лозинский, 1927) их число доходит до 50. Вопрос в сущности идет лишь об улучшении методов исследования, улавливания *следов* химических элементов.

Преобладают в природных растворах, однако, немногие химические элементы.

Компоненты жидкие редки и имеют меньшее значение в природных растворах; наиболее разнообразны компоненты в свободном виде твердые. Но главное значение надо придавать в природных водах компонентам *газообразным*.

Нет природной воды, которая не была бы *насыщена* газами той земной оболочки, в которой она находится и где она создавалась. Переходя из одной геосферы в другую, она немедленно воспринимает газы этой среды и ими *насыщается*, теряя старые, переходит в новую форму насыщения.

187. *Природные водные растворы представляют сложные подвижные системы:*

вода \rightleftharpoons газ,

причем газ, их проникающий, связывает ее теснейшим образом с газовой средой, в которой вода находится, т.е. газ находится в состоянии насыщения.

Это равновесие зависит от температуры и давления и постоянно меняется в зависимости о их изменения в земной коре. Оно зависит и от той среды, в которой находится газ, и от того изменения окружающей водный раствор среды, которому подвергаются природные воды, и от химических свойств газа.

Мы должны здесь отличать: 1) изменения температуры, давления, газовой среды, которые происходят в воде, неподвижно находящейся в каком-нибудь месте в земной коре. Таковы, например, изменения, которым подвергаются поверхностные воды данного земного участка в течение годового цикла явлений; 2) изменения, которым подвергаются подвижные воды, меняющие свое положение в планете и переходящие из одной среды в другую, например, напорные пластовые воды или минеральные источники, поднимающиеся из глубоких частей земной коры в биосферу, большие реки и морские течения, протекающие разнородные страны, или ручьи и реки, падающие с высоких горных вершин в места более низкие, и т.п. и, наконец, 3) необходимо учитывать те изменения, которые могут испытывать в смысле давления или темпе-

¹ Тела не действуют, если не растворены.

ратуры с ходом времени в историческое или геологическое время минералы воды данного земельного участка.

188. Амплитуда возможных колебаний очень велика для вод, достигающих биосферы, непосредственно доступных нашему изучению.

Беря только средние числа, можно сказать, что температура колеблется от многих сотен градусов для вод вулканических пород, от 150° для Гейзерных паров, выше 100° для жидких рассолов – до -30° еще несколько ниже для рассольных вод биосферы, до -70 для волосных вод. В биосфере амплитуда колебаний достигает 100° (от $+50^{\circ}$ до -50°) даже для нормальных и обычных ее явлений.

Давление колеблется от десятых долей атмосферы до нескольких сотен, может быть тысяч атмосфер (например, во включениях).

В биосфере на высотах, равных 5,5 км (высоких горных цепей и высоких горных плато), количество газов уменьшается вдвое, еще больше оно уменьшается в водных растворах, температура которых превышает 50° , и чем она ближе к температуре кипения чистой воды, тем быстрее исчезают газы из водного раствора.

189. Еще одно явление должно резко отражаться на составе газов растворенных в природных водах: их отсутствие и их количество в окружающей природные воды газовой среде (газовой атмосфере). Их отсутствие в ней заставляет газы уходить из водного раствора – распределяться между газовой средой и природной водой, чрезвычайно уменьшаясь в последней.

В биосферу, наконец, проникают воды фреатические в вулканических явлениях, в минеральных источниках, в буровых скважинах, в гейзерах и сопках. Давление, в котором в них находились газы, – другое, температура – также, и газовая среда (подземная атмосфера) не заключала кислорода, а иногда была богата углеводородами, сероводородом и т.п.

Попав в условия биосферы, газовый режим этих вод быстро меняется, вызывая в местах выхода многообразные изменения среды – в частности поглощение из воздуха кислорода, иногда азота и углекислоты, выделение в воздух углекислоты, иногда азота и метана, окисление сероводорода и т.п.

190. Несмотря на такую подвижность газовых компонентов природных вод, здесь есть довольно прочная точка опоры (§ 227 и сл.).

Состояние насыщения в условиях биосферы и ближайших к ней геосфер, в частности стратисферы, выражается в своеобразном признаке газовых компонентов – в *постоянстве порядка веса газов, находящихся в природном водном растворе.*

Количество газов, растворенных в природной воде, каков бы ни был их состав, равняется $n \cdot 10^{-3}$ % по весу воды. Меньше этого порядка коэффициенты для газов (взятых в целом) не бывают; больше – наблюдаются только для углекислоты в некоторых минеральных источниках и напорных пластовых водах, богатых двууглекислыми соединениями; в первые моменты выхода в биосферу процент CO_2 доходит в них до $n \cdot 10^{-1}$ %, быстро сглаживаясь до $n \cdot 10^{-3}$ % при установлении нового равновесия.

К сожалению, отсутствие достаточного числа анализов газов, растворенных в природных водах, не позволяет углубляться (с непрекаемой точностью, что вполне возможно) в анализ этого явления.

191. В биосфере иной характер вод, идущих из глубоких фреатических областей, выражается часто в том, что эти воды *газируют*, выделяют газы, находившиеся в растворе под большим давлением и в биосфере попавшие в наши условия. Газы выделяются непрерывно – соединения двууглекислые и двусероводородные распадаются. Выделяются CO_2 и H_2S .

При приближении к земной поверхности, стремясь к равновесию в форме насыщения, избыток растворенных газов (например, для азота) выделяется, давая газированные азотом природные воды.

Но это только пока возможное объяснение свободно выделяющихся газов из природных вод. Возможно, что часто мы имеем здесь дело с другим явлением, – с независимыми от воды газовыми струями, одновременно в том же самом месте выходящими на земную поверхность.

Возможно, что оба явления сосуществуют.

Решить вопрос можно только систематическим количественным изучением газовых компонентов природных вод.

192. Пока что можно считать, что *весовой процентный порядок* растворенных газов в природных водах остается неизменным и равен $10^{-3}\%$ вблизи земной поверхности – в биосфере.

В стратисфере он иногда доходит до $10^{-1}\%$ для углекислоты, но не превышает порядка $n \cdot 10^{-3}\%$ для других газов. Для вод больших высот (верхних пределов биосферы) он, может быть, спускается иногда до $n \cdot 10^{-4}\%$ по весу (n – большое число). Анализом к сожалению нет.

В областях высокого давления за пределами верхней стратисферы предел насыщения снижается высокой температурой (§ 226).

Интервал колебаний массы газовых компонентов не велик – не сравним с другими компонентами водных растворов, где колебания достигают сотен, тысяч и даже сотен тысяч раз.

Точное выражение содержания газов в весовых процентах является сейчас одной из насущнейших научных задач, обещающих важные результаты. Необходимо поставить исследование систематически.

193. Уже одно постоянное нахождение в природных водах газов, могущественно влияющих на ее свойства, не позволяет переносить – без больших поправок – на природные водные растворы данные наших лабораторий.

Значение газов в природных водах видно уже из того, что только благодаря их нахождению в природной воде возможно в ней развитие жизни, которая, как указано и как мы увидим, самым коренным образом меняет весь химический режим природных вод.

К той же осторожности при перенесении (без поправок) выводов лабораторий – всегда упрощенных и неполных – в природное явление призывают и другие соображения. В лаборатории изучаются только простые случаи для немногих одновременно находящихся в физически чистой воде компонентов. Природная вода содержит десятки химически разных компонентов, пропитана газами, жизнью, содержит коллоиды и т.п. (§ 203).

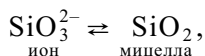
Мы знаем, что характер раствора меняется не только в зависимости от его концентрации и термодинамического поля его нахождения, но и от одновременного присутствия в нем других тел, находящихся вместе с данным в растворе.

194. Этим вызывается, например, возможность проявления в природной воде таких комплексов атомов, которые не существуют для чистых растворов химии. Так, едва ли может быть сомнение, что в обычном термодинамическом поле химически чистой воды SiO_2 – кремнезем – вполне не растворим, и его растворы, легко получаемые, представляют в действительности золи; ионы SiO_3 в них не существуют. В наших лабораториях их существование доказано лишь недавно в строго определенных, трудно осуществимых и в природе не существующих условиях (Шварц и его помощники, 1927). Многочисленные сделанные раньше опыты и наблюдения Г. Ле-Шателье и других позже него работавших ученых указывали на полную нерастворимость кремнекислоты в воде в обычных условиях.

В природной воде как будто бы надо бы ожидать отсутствия ионов SiO_3 и присутствия мицелл SiO_2 .

И действительно, во многих случаях, нацело или отчасти, такое строение всюду находящегося в природных водах атомов кремния кажется несомненным. Однако наряду с этим нередко (например, в реках) можно было с такой же несомненностью констатировать нахождение в них ионов SiO_3 (Диэнер); эти группировки могут существовать в воде в присутствии в ней ионов металлов (Na, Ca, Mg и др.), отсутствующих в чистых кремневых золях лабораторий. Вырешить характер находящегося в природной воде форм комплексов кремния мы большей частью не можем; но переносить на нее без поправки выводы лабораторных опытов тоже нельзя. В природных водах существуют оба случая – иногда одновременно. В лаборатории же – в *химически чистой* воде – ионы SiO_3 неустойчивы в термодинамическом поле, отвечающем биосфере.

195. Все заставляет думать, что природная вода всегда является смесью обычного раствора и слабого, разведенного золя. Границы между электролитическими растворами и слабыми золями в природной воде исчезают – существуют между ними все переходы, тем более, что и для мицелл, в них входящих необходимо признать их «ионизацию» – они электрически заряжены (§ 156). Все как будто указывает на то, что в природных растворах существует равновесие:



отсутствующее в чистых опытах наших лабораторий.

Природная вода является золем, если она рассматривается с точки зрения одного химического компонента, электролитическим раствором, если изучается на другом химическом компоненте. Для кремния же оба эти явления имеют место одновременно.

По-видимому, значительная часть «органических веществ» природной воды находится в коллоидном растворе. Однако для части из них мы имеем дело с раствором в воде *жидких органических соединений*, и провести границу между ними мы пока тоже не умеем.

Такие жидкие органические тела, может быть, образующие и электролитические растворы и коллоидные эмульсии, – постоянно выделяются водными организмами. Они мало изучены.

196. Невозможность применения – без больших поправок – обычных физико-химических представлений о растворах существует и для другого рода

явлений природной воды – явлений, касающихся очень разведенных компонентов.

Неясно, можно ли всегда *сводить их к ионам* обычного характера. Ибо, образование иона связано с разложением составленного из них нейтрального соединения. Мы имеем в нейтральном растворе всегда присутствие пары ионов – положительного и отрицательного.

Но в земном веществе существуют случаи, когда едва ли химические элементы находятся в форме соединений с другими. Таковы, например, вновь образованные элементы радиоактивного распада или йод – вообще все рассеянные химические элементы, присутствие которых открывается в каждом земном веществе, подвергаемом точному изучению.

Мы их находим и в воде.

Мы не знаем состояния таких рассеянных тел, – по-видимому, они находятся в состоянии свободных атомов; ничто не указывает, что они обладают свободным положительным или отрицательным зарядом (ср. § 259 для йода)¹.

Значение этих «следов» элементов в водных растворах может быть еще больше, так как возможно, что значительная часть рассеянных элементов в твердом земном веществе находится в нем в водном растворе – в волосных, проникающих его водах.

Удобнее поэтому, так как мы не знаем, где кончается электролитический распад на ионы, и где начинается рассеянный свободный атом для разведенных водных растворов, говорить о равновесии:

природная вода \rightleftharpoons атомы,

а не об электролитическом равновесии:

природная вода \rightleftharpoons ионные компоненты.

197. В обычных случаях – кроме рассеянных элементов – является сейчас удобным, однако, опираться на теорию диэлектрической диссоциации водных растворов и принимать как удобную модель для толкования природного явления существование в природных водах разнородно электрически заряженных осколков молекул, т.е. ионов.

Хотя причина такой диссоциации растворов теорией не предусматривается и попытки ее объяснения едва ли могут считаться удачными, – все же огромная масса научных фактов, которые удобно входят в кадры теории диэлектрической диссоциации растворов, позволяет нам считаться как с научным постулатом с существованием диэлектрической диссоциации.

Для природных растворов отсюда следует вывод большого значения, вполне укладывающийся в научно установленные явления, об *особом состоянии атомов кислорода* в природных растворах, которым мы – согласно теории диэлектрической диссоциации – объясняем существование отрицательно заряженных комплексных ионов SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , HCO_3^{1-} , HO^{1-} и т.п. Существование особого состояния подвижных атомов кислорода в природных водах есть факт. Прямо измерить этот кислород мы не умеем. Теория диэлектрической

¹ Выявление существования нейтронов (1920–1932 гг.) может дать ключ к решению вопроса о форме нахождения в растворах элементов в состоянии рассеяния.

диссоциации дает удобный способ это выразить и охватить без противоречия огромное количество научных наблюдений.

Опираясь на теорию диэлектрической диссоциации, я не буду здесь касаться тех новых изменений, которые в нее вносятся в последнее время и которые, может быть, приведут к коренному изменению наших представлений.

Для изучаемых явлений – природных водных растворов – они пока не дают никаких новых наведений.

Оставлю поэтому в стороне и допускаемую идущую до конца нацело диссоциацию (вернее в таком случае разложение) соединений на ионы и буду считать, что диссоциация в условиях природных растворов не идет до конца и уменьшается по мере увеличения концентрации раствора.

198. Диэлектрическая диссоциация выражена в природных водах очень резко, так что в господствующей массе – в пресных и в соленых водах – она дает очень удобную форму выражения природного явления.

Всякий природный раствор вначале во всяком случае начинается со слабого раствора, к которому вполне приложимы представления о ионизации.

Растворение твердых тел связано по нашим представлениям с *гидролизом*, т.е. с электролитическим разложением и растворителя (воды) и растворимого твердого тела.

И то и другое при соприкосновении дают заряженные разными зарядами ионы. Гидролиз и связанные с таким характером растворенных веществ химические процессы являются обычнейшим химическим явлением в химии земной коры.

Сама вода – растворитель – в природе всегда в небольшой мере электролитически разложена; из некоторого, небольшого, числа молекул образуются ионы H^{1+} и HO^{1-} . Те же ионы образуются и из других компонентов раствора, и потому определение массы этих ионов, которое может быть сделано очень точно, не дает ясного представления о разложении молекул воды растворителя. Особенно в природных водах имеют значение те явления, которые происходят при постоянно идущем растворении газообразной углекислоты; при этом образуются ионы H^{1+} и HCO_3^{1-} или $2H^{1+}$ и CO_3^{2-} . Уже по этому одному определению H^{1+} в природных водах не дает ясного понятия о распаде молекул растворителя. Это разложение часто играет второстепенную роль в наблюдаемом явлении (например, в океанической воде).

Нахождение H^{1+} (и HO^{1-}) в природных водах имеет огромное значение в динамике природных вод.

Очевидно, что диссоциация природных вод, имея резко определенные пределы, будет резко отличаться от диссоциации химически чистой воды с $pH = 5,8$ (по Клингу и Лассьеру, 1930). Ее константа pH почти всегда выше 7. Как величайшая редкость, встречаются воды, количество водородных ионов которых достигает пределов, не позволяющих существование в природных водах жизни.

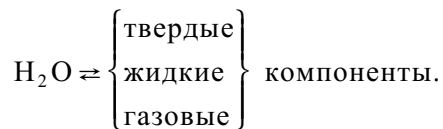
Едва ли можно сомневаться, что это сложилось исторически с ходом времени. Жизнь в своем неизбежном, с точки зрения законов сохранения энергии, захвате биосферы выработала формы, приспособленные ко всем земным величинам содержания ионов H^{1+} в воде.

И едва ли можно сомневаться, что природные воды необычной концентрации ионов, сейчас безжизненные, захватятся жизнью, если протечет достаточное время и если они смогут сохранить такой рН долгое время. Выработаются организмы, которые в них смогут жить и смогут их изменять.

Сейчас жизнь, в тех или иных формах, может существовать в пределах вод с рН от 5 до 10, т.е. в таких растворах, в которых количество ионов H^{1+} колеблется от 10^{-6} до 10^{-11} % по весу¹.

Эти пределы жизни в общем определяют существующие в биосфере пределы ионизации природных вод. Недоступные для жизни редкие богатые кислотами вулканические источники выходят за эти пределы.

199. При изучении природных водных растворов нельзя оставлять без внимания такие их составные части, которые хотя явно являются посторонними, делают растворы оптически неоднородными, но в то же время в природных условиях влияют на то равновесие, которому отвечает водный раствор, т.е.:



Мы уже приняли во внимание невидимые глазу составные части (грубо оптически однородную среду):



С той же точки зрения необходимо всегда принимать во внимание еще два рода компонентов: *мути и мельчайшие живые существа.*

Конечно, не всякие механические примеси и не всякие организмы должны нами рассматриваться как компоненты природных водных растворов.

Таковыми могут быть только тела мельчайших размеров, для которых существует одна важная особенность нахождения в водном растворе, которая, мне кажется, впервые была учтена в своем значении *В. Гансеном* (1881), когда он окончательно ввел в науку понятие о планктоне.

Эти взмученные тела и организмы должны удовлетворять одному определенному условию: *и составные частицы взвешенных мутей, и составные элементы живых веществ – живые организмы – по разным причинам всегда стремятся распределиться равномерно в природном растворе, охватить его весь*, т.е. дать механически однородную среду.

Получается своеобразная физическая однородность, совершенно аналогичная распределению мицелл, ионов, газовых молекул. Это равномерное распределение зависит от размеров и от движения молекул воды: мути и такие организмы обладают броуновым движением, т.е. связаны с молекулярным движением молекул среды (в данном случае воды), в которой они находятся. Очевидно только такие тела могут сюда относиться, которые по размерам входят в поле молекулярных, а не гравитационных явлений: мути переходят, уменьшаясь в размерах, в золи, т.е. являются крупнодисперсными водными

¹ Чистая пресная природная вода содержит $1 \cdot 10^{-8}$ г ионов водорода в литре. Эту величину называют рН, и для чистой воды рН = 7. Увеличение количества ионов водорода уменьшает рН (кислые реакции), уменьшение количества ионов увеличивает рН (щелочные реакции). Для крови рН = 7,4. Слабощелочная среда благоприятна жизни.

системами: организмы не должны обладать способностью к произвольным движениям, резко нарушающим проявление частичных сил.

200. Муты могут сделаться столь тонкими, что становятся невидимыми в микроскоп (приближаются к 10^{-6} см диаметром), по-видимому, такого рода дисперсные системы должны образовывать проникающие воды биосферы углистые вещества, связанные с распадением мельчайших организмов, или радиоактивные «индукции», постоянно и непрерывно образующиеся во всех природных водах распадением растворенных в них газообразных эманации – радона, торона и актинона – в конце концов переходящие в атомы свинца.

То же самое, несомненно, наблюдается и для микроорганизмов. Организмы, размеры которых меньше 10^{-4} см диаметром, уже находятся в поле молекулярных сил; при дальнейшем уменьшении размеров – до величины $2 \cdot 10^{-6}$ см несомненно микробы переходят в ультрамикробы; переполняя воду, в которой их присутствие доказано, они дают уже среду оптически однородную. Сюда относятся бактерии и нанопланктон.

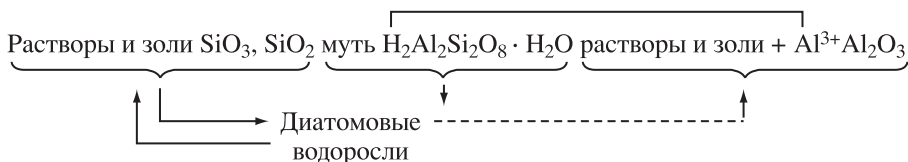
Размеры частиц мутей и неделимых живого вещества, которое мы принимаем как компоненты природных растворов, отвечают порядкам 10^{-3} – 10^{-6} см. Большие частицы и организмы не входят в состав природной воды, но могут играть огромную роль в ее истории; таковы, например, мутные воды рек, сносящие и строящие сушу, или зеленая растительность вод¹.

201. Следующий пример природного явления может служить ярким указанием на необходимость и неизбежность принятия во внимание для истории природной воды и мутей и живого вещества, в ней находящихся.

В планктоне океана огромную роль в истории кремния играют диатомовые водоросли, покрывающие в определенное время площади в многие десятки тысяч километров. Источником кремния для них, как показал *Д. Мёррей*, – кроме «раствора» кремния в морской воде – является муть каолиновых частиц, из которой они извлекают кремний.

Часть кремния и большая часть алюминия при этом должна возвращаться назад в морскую воду – в форме ионов и мицелл.

Схема этого огромной важности явления в структуре морского раствора следующая:



На каждом шагу возможно убедиться, что муты и особенно живые организмы являются важнейшей составной частью того физико-химического равновесия, каким являются природные воды.

202. Аналогичными мутям должны полагаться и своеобразные газовые выделения, играющие нередко большую роль в природных условиях.

Это своеобразные пузырьчатые структуры – газовые эмульсии, нередко связанные с мутью и с организмами, в других случаях выделяющиеся при

¹ Очень любопытны указания Э. Меркера (1931) на резкое и длительное – различное – изменение свойств вод (флюоресценции) при жизни и после жизни в них разных организмов и разных биоценозов.

разложении ионов и т.п. Для них характерно, что, собираясь в конце концов в видимые глазом пузырьки, они очень часто начинаются в виде тончайших пузырьков, невидимых глазу, соизмеримых с мицеллами.

Этого рода газовые проникновения вод недостаточно изучены и теоретически и экспериментально.

203. Сводя все вышесказанное вместе, надо считать, что в природном водном растворе существуют одновременно, влияют на характер его динамического равновесия и должны быть учитываемы при его научном изучении следующие компоненты:

Компоненты природных водных растворов*

1. Компоненты растворителя

10^{-7} – 10^{-8} см диаметр { 1. Разной величины водные молекулы – $(\text{H}_2\text{O})^n$, где $n = 1, 2, 3 \dots 16?$
2. Ионы воды..... H^+ и HO^{1-}

2. Компоненты в водных молекулах или с ними неразрывно связанные

10^{-7} – 10^{-8} см диаметр { 3. Ионы твердых тел (электрич. заряженные)
4. Гидратные комплексы (электрич. заряженные?)
5. Молекулы жидкостей
6. Газовые компоненты
7. Молекулярные мицеллы? (электрич. заряженные?)

3. Компоненты, непосредственно с водными молекулами не связанные

10^{-8} см диаметр { 8. Свободные атомы рассеяния (электрич. заряженные?)
9. Атомы в состоянии распада
 10^{-4} – 10^{-6} см диаметр { 10. Мицеллы (электрич. заряженные)
11. Гидратные комплексы мицелл? (электрич. заряженные?)
12. Дисперсные мути твердых частиц
13. Дисперсные рассеяния микроорганизмов
14. Газовые эмульсии
15. Жидкие эмульсии**

Для всего дальнейшего рассмотрения природных вод мы будем принимать во внимание главным образом компоненты 3, 4, 6, 10, но необходимо иметь в виду, что едва ли есть природная вода, свойства которой могли бы быть понятны, если не принимать во внимание всех остальных существующих в ней компонентов.

204. Природные водные растворы представляют динамические сложные равновесия, которые меняются с ходом времени; обычно они меняются чрезвычайно медленно.

* Этот список типов компонентов явно не полон и в дальнейшем будет увеличен. Уже сейчас один из непринятых во внимание типов намечается. Это атомы в разном магнитном состоянии – магнетоны. По опытам Г. Фэкса (G. Foex), А. Шатильона (A. Chatillon) и др. ионы Fe^{2+} , Co^{2+} и аналогичные другие семейства железа в водных растворах могут находиться в различных магнитных состояниях. Числа магнетонов, им отвечающие, – различны. В природных растворах это явление пока не отмечено.

** Встречаются вероятно не часто. Помимо нефтей должны существовать такие выделения в связи с распадом органических веществ.

Учитывая ход времени, можно считать их или *ложными статическими равновесиями или равновесиями*, не достигшими стационарного состояния.

Природные воды являются такими системами, все компоненты которых и молекулы самой воды находятся в вечном и непрерывном различном изменении, — но основной характер воды остается неподвижным.

Это дает возможность их точного научного исследования и числового выражения.

Иногда, как например, для *океанической воды* (§ 720 и сл.) такое постоянство достигает большого совершенства и вероятно выдерживается целые геологические периоды, а может быть в основном в течение всей геологической истории земли.

То же самое мы, по-видимому, имеем и для главных вод других геосфер — для воды дождевой, речной, для озер, для гейзеров, для минеральных источников.

Точное определение этого неизменного *среднего состояния* вод, реально существующего в природе, является основной задачей изучения природных вод, и на нем построено все дальнейшее изложение.

В сущности это является логическим выводом из признания природных вод земными минералами.

Все минералы являются в итоге непрерывно существующими в геологическом времени, но вечно изменяющимися и восстанавливающимися телами; такими же телами являются и виды природных вод: они существуют в земной коре непрерывно, исчезая и возобновляясь в разных местностях.

205. Однако это верно только в общей картине явления, и может считаться точно установленным только в первом приближении.

Мы не можем сейчас утверждать, что такие минеральные воды, как океаническая, речная, дождевая и т.п. воды, были химически неизменны в течение всех геологических периодов, хотя бы выраженные в виде тех предельных чисел, которыми мы в дальнейшем пользуемся. Можно только сейчас утверждать, что заметным образом таких изменений не констатировано. Для древних геологических периодов, для палеозоя, например, ряд ученых допускает значительные изменения состава поверхностных вод.

В общем, однако, состояние наших данных сейчас таково, что можно эти соображения оставлять в стороне без опасности столкнуться с противоречием известным фактам.

Это показывает, что проблема поставлена, но еще не вышла из стадии гипотез.

206. От этих предполагаемых изменений, возможность которых научно отрицать нельзя, надо отличать реальные, закономерные изменения во времени для некоторых определенных видов вод.

Многочисленные виды и семейства природных вод закономерно меняются с ходом времени, в конце концов прекращая свое существование, переходят в значительной части своего вещества в твердые минералы.

Эти процессы идут не только в историческом времени, но главным образом в пределах времени геологического.

В окружающей нас природе во множестве случаев мы наблюдаем длящийся процесс, начавшийся миллионы или сотни тысяч лет тому назад. Наши водоемы суши в огромном большинстве случаев существуют без перерыва с

конца плейстоцена – сотни и десятки тысяч лет назад, очень большое число их – с начала третичной эпохи, многие идут далеко глубже. Мы не раз будем встречаться с этим явлением в дальнейшем изложении.

Особенно обычны и резко выражены эти явления для небольших и вообще для замкнутых водоемов. Пресные озера суши проходят совершенно определенные стадии своего развития, превращаясь с ходом времени или в соленые и рассольные озера или в болотные и торфяные воды. В конце концов они дают начало отложениям или разных солей или сапропелитов и торфов.

В этих и аналогичных процессах можно наблюдать и восстанавливать генетическую зависимость между разными видами природных вод.

Законность таких изменений пока мало обращала на себя научное внимание.

Основные компоненты классификационного значения для природных вод

207. Первой задачей научного изучения природных растворов является выделение их видов и разновидностей на основании указанных в § 203 их компонентов.

Для этой цели возможно упростить задачу и пользоваться для классификации лишь частью характерных для природных растворов компонентов.

Удобно выдвинуть две группы компонентов – газы и химически растворенные твердые тела (пункты 3 и 6 списка § 203).

Это удобно потому, что природные растворы являются прежде всего неоднородными системами равновесия, подчиняющимися всем законам таких систем. Это прежде всего *системы химические* – неопределенные *химические соединения*, находящиеся в динамическом равновесии.

Господствующими компонентами таких систем являются всегда в них присутствующие газы (§ 10) и твердые тела.

Кладя их в основу нашего рассмотрения, классифицируя по ним природные воды, можно легко обнять всех их представителей. Как во всех случаях земных химических процессов из множества логически возможных случаев наблюдаются немногие. Химия земли – химия реально существующих природных соединений – бесконечно проще химии теоретической, которая в масштабе природной химии включает бесчисленное количество потенциально возможных соединений.

Из многих миллионов логически возможных тел, отвечающих комбинациям 15–16 типов компонентов (§ 203), известно сейчас около 490 видов и типов; это число превысит 1000 (§ 353 и сл.).

В основу нашего дальнейшего суждения мы кладем следующие явления – как параметры природных динамических равновесий, природных водных растворов. Мы изучаем изменения: 1) *концентрации растворов*, 2) *проникающих их газовых компонентов* и 3) *химического состава и структуры их твердых компонентов*, – так называемого *солевого состава* (ионы и гидратные комплексы).

208. В основу классификации должна быть поставлена *концентрация вод*, так как эта концентрация сразу приводит нас к основным чертам механизма природных вод в *биосфере*. В сущности только ее воды целиком доступны

нашему изучению, для других нам доступны или в биосфере измененные их части, или же мы заключаем о них на основании косвенных данных.

Основываясь на изучении явлений биосферы, мы заключаем о том, что происходит вне ее на основании их отражений в биосфере.

Другого пути нет для нас, и потому необходимо основываться в построении классификации на водах биосферы, главным образом, водах поверхностных.

Здесь концентрация вод выступает на первое место.

С точки зрения концентрации природных вод бросается в глаза: 1) широкое развитие, постоянное нахождение и образование в биосфере почти химически чистой воды – *пресных вод*¹, и 2) существование в ней единого резко определенного соленого раствора – воды *океанической, морской*. Этот соленый раствор – его концентрация и состав солевой части – остается постоянным, несомненно, в историческом времени и все указывает – во времени геологическом (§ 720 и сл.). Этот соленый раствор охватывает больше половины (по весу) воды земной коры и связан с ее диссимметрией (§ 78 и сл.).

Вся история природных вод определяется этими двумя основными явлениями.

Пресная вода в наибольшей своей части по весу сама является продуктом морской воды – результатом ее испарения.

Испарение воды на поверхности планеты, проникновение ее паров (пресных) в атмосферу, сгущение их там в жидкость, постоянное выделение паробразной воды в капельножидкое состояние и обратно – является основной чертой ее истории в биосфере и характеризует ее историю на суше, на которой только и может существовать *пресная вода*. Ибо, попадая из атмосферы при сгущении в жидкость в океан и моря, пресная вода переходит в обычный соленый раствор океана.

Но пресная вода, господствующая всецело в тропосфере, на суше может существовать только недолго и проникать в нее неглубоко. Она постепенно и немедленно растворяет окружающее ее вещество, меняется жизнью. На небольшой глубине – а иногда и на поверхности – она встречается с солеными водами, которые в большой своей массе, в значительной мере генетически закономерно связаны с измененными морскими *водами* донными и грязевыми).

Не говоря уже о богатых солевыми частицами, а временами и о соленых *почвенных растворах*, значение которых в истории природных вод огромно (§ 608, 669) и которые являются созданием жизни, – измененные соленые морские воды охватывают всю сушу на небольшой уже глубине. Осадочные породы, стратисфера, подстилающая биосферу, созданы главным образом морем, приконтинентальными частями гидросферы. Они несут измененные остатки *донной и грязевой морской воды* – соленой – и образуют слой соленой, часто богатой карбонатами, переработанной анаэробной морской жизнью воды, в разных формах проникающей всю толщу стратисферы (§ 589, 709).

209. Есть еще другой источник пресной воды, собирающейся в биосфере и в стратисфере, связанный с дистилляцией водяных масс, освобождающихся

¹ В более глубоких геосферах пресная вода отходит на задний план. Возможно, что в метаморфической оболочке ее нет вовсе. В ней и ниже, вероятно, уменьшается значение и соленой воды.

этим путем от солевых частиц, благодаря высокой температуре, постепенно и непрерывно поднимающейся, начиная от поверхности, и уже в стратисфере достигающей 100–200 °С.

Эта вода частью связана с магматическими процессами, частью, в конце концов, метеорного и морского происхождения.

Богатая кислотами, а иногда аммиаком, эта пресная вода является в своем первоначальном виде разведенной кислотой или щелочью (аммиачной) и быстро в окружающей земной среде – в биосфере уже – дает соленые воды.

По-видимому – в связи с тем же повышением температуры – метаморфизация соленых вод стратисферы резко растет с глубиной, и солевой их остаток увеличивается, – они переходят в *рассолы*.

Таким образом, основным стержнем всего механизма природных вод является соленая вода (3,2–3,7%) океана. Пресные воды господствуют в земной газовой оболочке; они недолговечны и переходят в соленые растворы, которые на суше достигают чрезвычайного разнообразия, давая сотни видов природных вод. Глубже они переходят в рассолы – область явлений почти недоступная нашему изучению.

210. Чисто пресная – природная *химически чистая вода* химиков, все же проникнутая газами, однако существует в земной коре в определенных довольно исключительных условиях; она не может быть связана с процессами перехода из одного физического состояния в другое – с перегонкой. Объяснение ее происхождения надо искать в других явлениях – в коллоидных процессах – во взаимоотношениях между мицеллами и ионами, может быть, в вымораживании (§ 561).

Мы знаем, что при испарении водного раствора и при перегонке паров воды неизменно захватываются другие компоненты раствора, сопровождающие воду тела; они летят вместе с ней при одной и той же температуре. Правда, это «следы» – сотые и меньшие доли процента, – но следы в земной коре в геологическом течении времени превращаются в миллионы и больше тонн весом. Научно, к сожалению, мало исследовано это явление, но минералог с ним сталкивается на каждом шагу.

По этому одному химически чистая пресная вода, фреатическая или ювенильная, на нашей планете существовать, как общее правило, не может.

Она не может быть не только вследствие неизбежного нахождения твердых компонентов (солевого остатка) в парах. Всякая природная вода проникнута *газами* и уже этим отличается от химически чистой воды.

Более чистыми являются *воды многократных природных перегонок* при низких температурах, все более и более уменьшающих количество сторонних составных частей пара. В природе таковыми являются *вадозные водяные пары*. Они, однако, немедленно захватывают газы и те вещества, которые находятся в воздухе.

Пары воды частью получают испарением из растворов в биосфере или в более глубоких частях земной коры, частью получают синтетическими реакциями.

Представляется несомненным, что всегда можно проследить до них – и до их сжижения в пресную воду – всякий природный водный раствор, если углубиться в его историю.

211. Наиболее чистая природная вода содержит $n \cdot 10^{-6}\%$ примесей, в ней растворенных. Это число отвечает поверхностной и вадозной подземной воде (верховодке?) – тому виду природных вод, который отвечает дистиллированной воде наших лабораторий. Коэффициент n , по-видимому, невелик. Наиболее богатые солями рассолы содержат их до 40% – это поверхностные рассольные озера и, может быть, подземные рассолы, например, связанные с коррозионными водами.

Отсюда получается колоссальная амплитуда колебаний концентрации, отвечающая сотням миллионов раз

$$n \cdot 10^{-8} \text{ раз,}$$

причем коэффициент n , по-видимому, небольшой. Одна природная вода может содержать растворенных твердых тел в сотни миллионов раз больше, чем другая.

Амплитуда колебаний чрезвычайно уменьшается, если наряду с ионами и гидратными комплексами мы будем учитывать и газовые компоненты. Мы не знаем вод без газовых компонентов. На самых высоких горах процент газовых компонентов может – в сумме – понижаться до $n \cdot 10^{-4}\%$ (где n – большое число) – т.е. в этом случае амплитуда колебаний достигает нескольких миллионов раз и отдельные воды в сотни тысяч раз отличаются по концентрации.

212. Насколько различен состав получающихся продуктов – видно из следующих анализов наиболее чистой дождевой воды (учитывая элементы, превышающие $10^{-2}\%$) и одного из рассолов, отнюдь не наиболее богатого «солью» (газы в расчет не приняты):

В обеих водах есть все указанные здесь элементы, но в пресной воде все они и по весу и по числу атомов составляют меньше 0,02%, а для рассола все по весу и большинство по числу атомов составляют больше 0,02%.

	Чистая дождевая вода		Рассол из Коннантсвил по А. Робинсону и Мавери	
	I	II	I	II
O	88,88	33,33	61,43	30,80
Cl	0,00	0,00	19,25	4,35
H	11,11	66,66	7,68	61,61
Na	0,00	0,00	5,67	1,98
Ca	0,00	0,00	428	0,86
Mg	0,00	0,00	0,78	0,26
K	0,00	0,00	0,48	0,09
Br	0,00	0,00	0,16	0,00
Fe	0,00	0,00	0,08	0,00

Одно такое резкое химическое различие состава, особенно по весу, должно заставлять выделять разные концентрации растворов как особые минералы.

Это тем более необходимо, что история их различна; хотя между ними можно подобрать переходы, но в земной коре господствуют более крайние члены, и обычно не приходится сомневаться, к какому минералу – по концентрации – приходится отнести ту или иную природную воду.

213. На основании концентрации можно разделить все природные воды на три больших *класса*, границы между которыми были установлены исторически, житейски.

Делят воды – не говоря о более дробных подразделениях – на *пресные* и *соленые*. Среди соленых часто выделяют очень соленые – *рассолы* и *солончатые*.

Эти деления установлены жизнью человека, его культурными потребностями.

Я кладу их в основу научной классификации природных вод, но в связи с значением вод в геохимии и минералогии отбрасываю воды солончатые (соединяя с солеными) и ставлю класс рассольных вод на равное место с водами солеными и пресными.

В глубоких геосферах земной коры класс рассолов начинает преобладать, и во всяком случае значение его с глубиной в земной коре увеличивается.

Таким образом, можно выделить *три класса: воды пресные, соленые и рассольные*.

Неизбежно, уточняя употребление этих житейских подразделений, я должен буду придавать им смысл, не всегда совпадающий с тем, который придается им в разговорном языке.

Уточнение понятия вносится прежде всего тем, что берется резко определенное, независимое от состава компонентов количество их, которое будет отделять пресную воду от соленой. Это число – 0,1% по весу – действительно очень близко к границе, отделяющей соленую на вкус воду от воды на вкус пресной – в том, однако, только случае, если соединения NaCl (или Na₂SO₄) будут преобладать в твердом остатке, который остается при испарении воды¹.

214. Такое подразделение на пресные и соленые воды и вообще не есть подразделение случайное². Оно не случайно как с точки зрения животного

¹ Пресный характер воды отвечает понятию о ней как о воде питьевой. Эмпирически человек с незапамятных времен отличал эту воду, руководствуясь здесь инстинктом и народным опытом.

В значительной части Западной Европы предельным содержанием сторонних веществ (твердого остатка) признается для хорошей питьевой воды $5 \cdot 10^{-2}\%$ (в Англии, по Торпу); обычно, однако, питьевая вода содержит значительно меньше сторонних тел. Для некоторых мест в питье идет солончатая вода (для сухих частей Придонья, по К. Лисицыну, $1,0-1,5 \cdot 10^{10}\%$). Выведенное эмпирически допустимое содержание растворенных солей в поливных водах, по Гильгардту, отвечает в максимальном пределе $1,1 \cdot 10^{-1}\%$.

Вода, содержащая $5 \cdot 10^{-2}\%$ NaCl, на вкус уже соленая. Такая вода относится, по классификации, мною принятой, к водам пресным.

² Вместо солевого остатка можно взять другое физическое свойство, например, электропроводность, тоже – функцию концентрации раствора. Для пресных озерных вод электропроводность колеблется в пределах $3,3 \cdot 10^{-5} - 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ ома}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ (Ваглер, 1923). Все соленые воды имеют большую величину электропроводности, чем $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ ома}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

и растительного мира, так и с точки зрения свойств природных вод. Точно так же, как величина диэлектрической диссоциации молекул воды – величина рН, наблюдаемая в океане, определяет всю его жизнь, точно так же эмпирически установленная граница концентрации $10^{-1}\%$ ¹, связанная с количеством ионов металлов, Cl^{1-} , SO_4^{2-} , HCO_3^{1-} и CO_3^{2-} , определяет *характер всей жизни*, а следовательно, и всех химических процессов природных пресных и соленых вод.

Жизнь *пресных вод* и жизнь *соленых вод* совершенно иная, и это различие выдерживается на всем протяжении ее – и в арктических и в тропических областях².

Но это только по отношению к ионам Na^{1+} , Cl^{1-} , отчасти SO_4^{2-} . Уже для обычных в биосфере ионов Ca^{2+} и CO_3^{2-} – физиологический эффект их растворов, близких к $10^{-1}\%$ концентрации, иной, и соленый вкус воды исчезает. Это воды на вкус пресные – по обывательской классификации, но *жесткие*.

В проводимой мной классификации они входят в класс соленых вод.

В этих жестких, пресных и соленых водах мы встречаемся также с явлением, которое отличает богатые и бедные твердыми компонентами растворы. Это кальциевые, богатые SO_4^{2-} и CO_3^{2-} , соленые растворы часто уже насыщены или почти насыщены и легко – при земных условиях – выделяют избыток компонентов в твердой фазе.

Поэтому воды богатые Ca^{2+} , SO_4^{2-} или CO_3^{2-} , не выходят за пределы соленых вод. Это воды жесткие или соленые.

Соли Na, Mg, K достигают такого насыщения при гораздо большей концентрации (в условиях биосферы). Эти более насыщенные солью растворы выделяются мною в другой класс природных вод – *рассольных вод или рассолов*³.

Для рассольных вод насыщенное состояние их – в условиях биосферы – не может считаться характерным, так как для кальциевых соединений оно достигается, как мы видели, уже в классе соленых вод. Для рассолов является характерным, что при 5% солевого осадка все главные соли всех металлов, имеющих значение в истории природных вод, – Mg, Na, K, Ca – не разбиты на ионы в главной части их массы. Граница в 5% – условная. Для сложного природного раствора нельзя дать одну определенную концентрацию, при которой распадение компонентов на ионы одновременно отходило бы на вто-

¹ Оно, очевидно, не отвечает точно $1 \cdot 10^{-1}\%$, как это принято в данной классификации. Для NaCl и для животного царства надо, по Гессе (1924), считать солеными все воды, содержащие больше $3 \cdot 10^{-2}\%$ остатка.

² Очень удобно для решения некоторых проблем выделить слабые соленые растворы (от 0,1–1%) как солоноватые воды. Их распространенность в верхних частях земной коры является характерной чертой в истории природной воды, их жизнь тоже во многом отлична, а главное, для них отличны продукты биохимических реакций. Так, например, по-видимому, образование нефтей приурочено к солоноватым водам, а не к соленым. Я не решился, однако, при современном состоянии наших знаний усложнять классификацию. Необходимая, вероятно, поправка – дело будущего.

³ Понятие рассола здесь и дальше употребляется в понимании, довольно резко отличном от житейского. Рассолом может быть и газообразная (§ 523) и твердая фаза воды. Им будет в известных случаях почвенный раствор. В научной литературе ряд озер, называемых здесь рассольными, называются обычно солеными самосадочными.

рой план. Можно однако считать, что в рассоле выше 5% резко преобладают ассоциированные комплексы – гидратные комплексы во всех природных случаях.

Дело будущего эмпирически установить это число, учитывая те комплексы, которые отвечают в водах биосферы этому условию (§ 267). Задача не представляется мне невозможной. Характерное число для рассолов будет, по-видимому, меньше 5, но близко к нему.

216. Несомненно, концентрация природного раствора в значительных пределах может в разное время меняться в ту и другую сторону благодаря, например, притоку пресной воды или усилению или ослаблению испарения. Многочисленные примеры этого мы видим, например, в истории рек (§ 605 и сл.) или озер (§ 618 и сл., 760 и сл.).

Но в общем – в среднем – она остается очень постоянным признаком, и колебания ее закономерны – идут в определенных пределах. Постоянство концентрации является следствием установившегося динамического равновесия и резко сказывается, например, на постоянстве концентрации морской воды (§ 413) или минеральных источников.

Благодаря этому постоянству точное установление концентрации позволяет путем изучения вод глубоко проникать в химию земной коры. И с этой точки зрения чрезвычайно характерны два явления: 1) *обилие пресных вод вблизи земной поверхности* и 2) *соленая концентрация морской воды*.

И то и другое явление дает нам мерку соотношения между интенсивностью испарения (т.е. величиной тепловой солнечной энергии) и химических процессов биосферы, которые в конце концов – через живое вещество – в значительной мере сводятся к другим излучениям того же самого светила. Для концентрации океанической воды характерно: 1) ее постоянство, почти отвечающее постоянству химического соединения, 2) то, что одинаковый неизменный состав охватывает более половины всей воды земной коры, и 3) то, что он, можно думать, в среднем неизменен за все геологическое время.

Только в более глубоких слоях земной коры находятся, может быть, воды, в которых чисто химические процессы выдвигаются на первое место. Это должно выражаться в большем осолонении вод и, может быть, в образовании рассолов. Но эти глубокие воды нам почти недоступны, и мы должны заключать об их существовании на основании косвенных соображений.

217. Следующая схема отвечает вышесказанному:

1) Гидросфера (океан) – соленая вода концентрации 3,2–3,6%. Под ней в глубоких геосферах, в среднем глубже 3,8 км, находятся рассолы, соленые воды и соленые пары (?).

2) Суша – пресные воды и реже рассолы и соленые растворы, отличные от вод гидросферы.

Под ней в стратифере соленые воды, переходящие глубже в рассолы. Из глубин выходят на сушу пресные, соленые и рассольные воды и пары.

Эта схема является характерным выражением диссиметрии строения земной коры и дуалистической структуры истории природных вод.

В геологическое время в течение порядка $2 \cdot 10^9$ лет это явление, по-видимому, осталось неизменным.

218. Как мы видели (§ 14), одной из самых характерных черт природ-

ных вод является то, что они составляют часть огромного механизма земной коры:

природная вода \rightleftharpoons природные газы.

Газы и воды находятся в постоянном обмене, и газы в растворе в воде сохраняют тесную связь с той газовой средой, в которой находится вода, т.е. молекулы газов лежат в воде вне ее молекул (§ 346).

Газы природной воды определяют всю химию вод и *могут быть приняты за другой основной признак классификации природных вод.*

Газы в земной коре вообще очень немногочисленны, а газы, наблюдаемые в значительных количествах, еще того менее. Характерно, что это все те же газы, какие образуются в биохимических процессах. Такими собирающимися в земной коре в значительных количествах газами являются: свободный кислород (I, § 240), свободный азот (I, § 241), уголекислота, сероводород, водород (I, § 247) и разнообразные углеводороды. Из последних до сих пор обращают внимание только на метан, что дает неполное и искаженное представление о реально существующем природном явлении, так как этан и пропан, а может быть и углеводороды этиленового ряда играют серьезную роль в истории природных вод.

Как мы видели в первом томе, изучая историю элементарных газов, все природные газы находятся в постоянном химическом движении – постоянно образуются и входят в химические соединения, в результате которых их количество в земной коре остается неизменным.

Благодаря свойствам газов, эти динамические равновесия захватывают максимальный объем; в каждой геосфере газы распространяются всюду, образуя единое динамическое равновесие – однородную среду, – если только нет особых условий, этому препятствующих.

Этим прежде всего определяется их значение в истории природных вод.

Оно еще увеличивается благодаря тому, что динамические газовые равновесия приурочены к геосферам, т.е. меняются в вертикальном разрезе планеты.

Хотя есть взаимодействие между всеми газами планеты, однако это взаимодействие ограничено свойствами газов и среды. В атмосфере газы земли распространяются в космическую среду с неодинаковой скоростью; легкие газы уходят дальше и быстрее от земной поверхности. В области высокой атмосферы к пределам стратосферы надо ждать резкого уменьшения более тяжелых газов (уголекислоты, например) и увеличения количества легких (гелия, водорода).

Тропосфера непосредственно связана с подземными скоплениями газов – с *подземными атмосферами*, состав которых резко иной, чем ее состав. Так кислород, создающий жизнь в тропосфере, быстро исчезает в подземных атмосферах, где около земной поверхности выступает на первое место уголекислота (§ 230).

Можно различить смену химически различных подземных атмосфер с углублением в земную кору. Глубже других газов идут углеводороды и, может быть, азот.

Эта смена подземных атмосфер имеет первостепенное значение в истории природных вод, так как определяет газовый режим подземных и глубинных вод, их подклассы (§ 334).

219. Газы, входя в природные воды, могут находиться в них в нескольких различных состояниях: 1) в растворе, 2) в виде газовой эмульсии (газовых пузырей) и 3) могут входить в химические соединения, или входя в мицеллы, или, чаще, переходя в разнообразные ионы.

В сложной системе водных растворов между всеми этими состояниями поглощаемых газов есть всегда свои вторичные сложные равновесия; они переходят в зависимости от условий среды из одного состояния в другое.

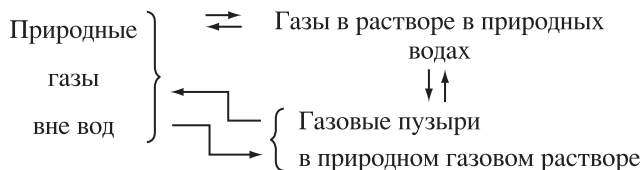
Нет надобности останавливаться здесь на растворах газов, хотя, к слову сказать, наши о них представления не очень конкретны; но надо остановиться на образовании газовых пузырьчатых структур (газовых эмульсий) и особенно на химическом изменении молекул некоторых газов при их растворении в водах, ибо это последнее явление имеет первостепенное значение в их классификации.

Газовые пузырьчатые эмульсии – не случайное, а постоянно наблюдаемое в природном газовом растворе явление, так как газовый раствор есть функция температуры и давления, которые непрерывно меняются, иногда чрезвычайно резко для некоторых определенных семейств природных вод, например, для минеральных источников, выходящих на земную поверхность, в биосферу – в область низкого давления и низкой температуры – из областей, давление которых достигает сотен атмосфер, а температура превышает 100°C – температуру кипения чистой воды в биосфере.

Поэтому равновесие:



должно быть представлено в форме:



Необходимо отделять эти состояния газов в воде, потому что они представляют закономерные физические динамические равновесия и ими обуславливаются разнообразные химические явления в природных водных растворах, не объяснимые только газовыми растворами.

В тех случаях, когда газы образуются химическими и биохимическими реакциями в водном растворе на месте, без изменения термодинамических условий среды, образование газовых эмульсий есть в очень многих случаях не менее обычное и важное явление, чем раствор.

Водный газовый раствор мы объединяем с водными растворами и коллоидными псевдоразрастворами твердых и жидких компонентов; с таким же правом и удобством можно сравнивать водный раствор, проникнутый газовыми пузырями, с гидрозольями.

Газовые пузыри будут отвечать мицеллам и мутям.

Газовые эмульсии образуются разным образом. Они образуются благодаря процессам изменения самого раствора и благодаря внешним условиям его нахождения.

Среди первых необходимо отметить радиогенные и биогенные.

Первые образуются благодаря излучениям α , β и γ , выделяемым радиоактивными атомами, распадающимися в водном растворе.

Это большое и важное явление не только не изучено сколько-нибудь достаточно для природных тел, оно не изучено и само по себе. А между тем, все воды содержат такие атомы.

Оно требует изучения. Вероятно, что H_2 и O_2 , получающиеся распадением молекул воды, например под влиянием атомов радия, не давая эмульсий, сейчас же растворяются в воде.

Но другие эмульсии – биогенные – известны и играют важную роль в природе.

Их образование широко распространено для хлорофильных растений и идет при процессе фотосинтеза в водной среде.

В частности, оно имеет здесь место и для микроскопических мелких организмов – для мельчайших зеленых водорослей, – и очень вероятно, что этим путем образуется и такая, невидная глазом газовая зольная структура и возникают те пересыщенные скопления кислорода и азота, которые наблюдаются в верхних планктонных пленках водоемов, в том числе и океанов, для кислорода, под влиянием деятельности зеленого планктона, а для азота – бактерий (I, § 240–241).

Этим путем создаются мощные обогащения кислородом водных бассейнов, иногда более чем в 3,5 раза превышающих насыщенные кислородом (путем растворения) водные массы. Их неправильно называют пересыщениями.

221. Другой формой таких газовых зольей является выделение из природных вод свободных газов – чрезвычайно распространенное явление, к которому я еще вернусь (§ 224), связанное с изменением температуры и давления в окружающей водный газовый раствор среде.

Это явление сложное.

Здесь надо различать: 1) «случайное» одновременное выделение вод и газов из одного выхода. Случайное в том смысле, что выделяющийся газ никакого отношения к водному раствору, в котором он движется, не имеет: он проник со стороны, из глубоких частей земной коры, в тот выход в биосферу (естественный или искусственный в буровых скважинах), каким в нее выйдут воды, 2) газы, которые растворены в воде при более высоких давлениях и более низких температурах и выделяются в пузырях, когда эти два параметра раствора меняются, и 3) газы, которые при тех же условиях выделяются в газовой эмульсии при распадении некоторых ионов, например, HCO_3^- или при химических реакциях, например, при взаимодействии воды и растворенного газа CSO .

222. Существование проходящих «случайных» газов, совместно с водами, приходящими снизу в биосферу, вызывает не только образование газовых гидрозолей, но и изменение растворенных газовых компонентов, так как часть этих сторонних газов растворяется в воде, в которой проходят газовые пузыри, меняет ее газовый состав.

И здесь, по-видимому, приходится различать два разных явления, которые сейчас обычно не различаются: 1) газы, идущие снизу, и 2) газы подземной тропосферы, участков тропосферы «обычного воздуха», которые глубоко проникают и всю биосферу и часть стратисферы на глубину многих сотен

метров, местами, может быть нескольких километров. К сожалению, это явление, вероятно имеющее большое значение и для учета газового состава вод, совершенно не изучено. Отмечая его здесь, я оставляю его в дальнейшем изложении в стороне.

Для понимания этого явления отсутствуют нужные факты – прежде всего определение температуры газовых пузырей сравнительно с температурой той воды, из которой они выделяются.

223. Может быть еще больше, чем для растворенных газов, здесь необходимо сейчас вызвать систематическую количественную работу.

Выделяющиеся газы – газовые эмульсии – струи, выходящие из природных вод, сейчас многократно энергичически изучаются и анализируются в связи с поисками гелия или горючих газов. Их практическое значение позволяет направить сюда значительные средства. Но их исследование поставлено близоруко узко; огромный научный факт не изучается до конца: в частности не изучаются ни растворенные газы, ни температура раствора и газа одновременно, и не определяются точно семейство и вид воды.

А между тем, и это последнее имеет огромное значение. Газы могут выделяться из пластовых вод и из минеральных источников. Для пластовых вод они не являются обычно в большем количестве, так как для них есть предохранительный аппарат: в водоносном горизонте они при уменьшенном давлении занимают прежде всего поры водоносной породы, вернее части пор, вытесняя оттуда воду. Выделение таких газов наблюдается вблизи земной поверхности (Мейнцер, 1928).

224. По-видимому, газы, выделяемые при диссоциации газового раствора и ионных компонентов, являются наиболее распространенными. Мне придется еще касаться этих явлений более подробно дальше. Здесь же я приведу один пример, дающий понятие о сложных газовых эмульсиях, которые могут образовываться в природных водах и требуют изучения.

Образование диссоциационных газов может иногда наблюдаться резко, как особое явление, отличное от газов раствора, со стороны привходящих.

Иногда выделение газов, связанное с диссоциацией, резко видно и отлочно от проходящих через раствор газов: они выделяются мелкими пузырьками, пронизывающими воду, тогда как «сторонние» водному раствору газы выделяются периодически или большими пузырями. Состав таких газов различен.

Так, например, в пресном источнике Темпель-квелле в Штебене, в Баварии (вид O–Ca–Mg) выделяются одновременно мелкие (I) и большие (II) газовые пузыри. Их состав объемный (a) и весовой (b) – в процентах виден из следующих чисел (анализ А. Хильгера, 1889):

	I. Мелкие пузыри газа		II. Большие пузыри газа	
	a	b	a	b
CO ₂	86,9	95,4	0,8	2,5
N ₂	12,6	4,4	90,0	87,8
O ₂	0,5	0,2	8,7	9,7

Можно объяснить указанным образом это явление – только в первом приближении. Оно более сложно.

Для полного суждения хотя бы в данном частном случае не хватает данных, – нет анализа *растворенных газов*. Большие пузыри могут происходить не только от прохождения газовых – сторонних раствору – струй, но и от выделения растворенных газов при меньшем давлении в биосфере. Их размеры могут указывать на отношение насыщенности газами раствора по сравнению с составом тропосферы. Судить о газовом режиме воды по анализам свободно выделяющихся газов очень рискованно. Они дают совершенно другую картину, чем газы растворенные.

Так, например, в минеральном источнике (азотно-углекислом Са–О–Mg–S) Рей Салюд в Трило, в Гуадалайаре, в Испании, по Ф. Диас де Рада (1927), находятся а – объемн.%, b – вес.%:

	Газы раствора		Газы, свободно выделяющиеся	
	a	b	a	b
N ₂	35,91	26,52	90,24	86,45
CO ₂	61,10	70,94	6,93	10,44
O ₂	3,00	2,54	2,83	3,10

Как видно и из этого примера, известная общая основа есть между этими двумя анализами: постоянство кислорода. Характерно резкое изменение, вносимое углекислотой.

225. Эти свободно выделяющиеся газы, образующие газовые эмульсии, должны уже поэтому обратить на себя самое серьезное наше внимание и изучаться в связи с химическим составом источников.

Они должны обратить наше внимание еще и потому, что они, как мы увидим позже, являются проявлением особого свойства природных вод, отсутствующего, вообще говоря, в воде, изучаемой в наших лабораториях.

Благодаря газовым эмульсиям и диссоциационным создающим газовые эмульсии процессам, связанным с особым характером некоторых обычных ионов, газы вызывают движение и перемещение вод, меняя то гидростатическое движение, которое вызывается для глубоких вод под влиянием свойств жидкости.

Гидростатическое давление само создает, как мы видели, газовые эмульсии, например, в напорных пластовых водах или в глубоких минеральных источниках.

Растворение газа есть функция давления: при уменьшении давления газ выделяется в свободном виде – в газовой эмульсии; при увеличении давления газы переходят в газовый раствор.

Растворенные газы и газовые эмульсии придают природным водам особые свойства: расширяясь и сжимаясь, они вызывают их *движение*. Упругость газов вызывает и усиливает определенное движение, определенный *напор* подземных вод. Под влиянием газов (какого бы происхождения они ни были – в том числе и биогенного) природные воды находятся в вечном движении, имеют некоторые свойства газов.

Необходимо отличать два явления: во-первых, явления, связанные с тропосферой и ее движениями, и во-вторых – движения более глубоких подземных вод. Верховодки, как показал П.В. Отоцкий, колеблются в своем уровне

отчасти в связи с изменением барометрического давления, т.е. с движениями тропосферы.

По мере того, как вода уходит в более глубокие слои земной коры, приобретает все большее значение давление растворенных в ней и выделяющихся в ней эмульсионных газов.

Воды, идущие с глубин, обладают давлением: это – *напорные воды*; их давление – частью гидростатическое, частью газовое, частью гравитационное (§ 686).

Природная вода приобретает новые свойства, отсутствующие в чистой воде химика или физика.

Давление природных вод приобретает особое значение, когда воды выходят из глубоких частей земной коры, где газы способны в них растворяться в большем количестве.

Такие воды являются резкими нарушителями среды биосферы, и эти газы резко меняют историю ее природных вод.

Она меняется еще и тем, что *температура* растворенных и эмульсионных газов иная, чем температура воды. Газы проникают в водные растворы не только из тропосферы, они проникают и снизу из стратисферы и метаморфической геосферы. Для многих из них – в частности, для азота или углеводородов – возможно проникновение в биосферу и в стратисферу и т.д. из областей еще более глубоких, температуру которых они вносят, растворяясь и эмульсируя, в более холодной и верхней воде.

226. Наиболее характерным фактом является теснейшая связь некоторых из основных газов природных вод с определенными земными оболочками, т.е. закономерное изменение состава газов с земной глубиной. Благодаря этому, химия природных вод приобретает своеобразный облик.

Если вода, несущая газовые компоненты одной оболочки, попадает в геосферу с другой газовой средой, она быстро меняет свой газовый состав и принимает новую газовую структуру, отвечающую новой геосфере, в которую она попала.

Вода, лишенная газа, известна только в наших лабораториях, и то с какими усилиями мы достигаем ее получения и с каким трудом и предосторожностями можем ее сохранить! *Природная вода всегда содержит в растворе (обычно и в эмульсии) газ. Определение того и другого газа, особенно растворенного в природной воде, может дать очень ясные и определенные данные о ее положении в земной коре, о ее происхождении.*

227. В газовом растворе и связанной с ним эмульсии надо различать два явления: 1) изменение количества газов и 2) изменение их качественного состава.

Характерно, что и то и другое явление закономерно меняется с глубиной, является функцией положения воды в разрезе планеты.

Для концентрации газового раствора это понятно, так как количество газа в растворе зависит от температуры и давления, которые меняются в вертикальном разрезе планеты.

Изменение концентрации газов было – так же, как и изменение качественного состава – найдено не теорией, а путем наблюдения и лишь позже было теоретически понято. Первые сюда относящиеся явления были отмечены в

XVIII столетии, во второй его половине, – но и до сих пор систематические исследования их отсутствуют.

Впервые А. Лавуазье заметил, что поверхностные воды на горных высотах более легки, что он правильно объяснил сильным уменьшением в них количества растворенных газов.

Для нас сейчас этот вывод ясен теоретически и совершенно исчез из нашего понимания тот метод наблюдения – определение веса литра природной воды прямым взвешиванием, – которым было достигнуто эмпирическое обобщение Лавуазье. Несколько позже был установлен Пирсоном иной состав – по сравнению с составом тропосферы – газов природных вод, идущих из более глубоких частей планеты (§ 421).

228. Низкая температура высоких горных вершин кладет предел водным растворам, бедным газами, так как жидкая вода нормально на них не существует. Однако все же вертикальная разница очень значительна, так как в Гималаях, например, снежная граница подымается местами до 6 км и в солнечные дни жидкая вода может существовать и на больших высотах. Если учесть эти условия, следующие числа дают понятие о растворимости воздуха на этих высотах (при 0° С; вес.%):

	O ₂	N ₂
Уровень моря (760 мм)	1,47 · 10 ⁻³	2,29 · 10 ⁻³
5000 м над уровнем моря (398 мм)	7,68 · 10 ⁻⁴	1,17 · 10 ⁻³
Эверест 8800 м (205 мм)	3,94 · 10 ⁻⁴	6,03 · 10 ⁻⁴

Если пресные воды могут содержать и меньшие проценты кислорода – поверхностные воды суши не дают иным путем азота порядка ниже 10⁻³⁰%.

Низкая температура повышает растворимость разреженного воздуха на этих высотах. В областях высоких давлений для вод под давлением нескольких сот атмосфер концентрация газового раствора повышается, но высокая температура этих областей действует в обратную сторону.

К сожалению, эти все явления изучены очень недостаточно, но, по-видимому, как указано уже (§ 190), – в доступных нашему изучению природных водах сохраняется всюду в *биосфере* весовое содержание газов порядка $n \cdot 10^{-3}$.

Этот порядок весового содержания газа сохраняется даже для вод высоких горных вершин и, может быть, лишь в высоких тучах (анализов нет) спускается до $n \cdot 10^{-40}$ %, причем n имеет большую величину.

Все поверхностные воды содержат тот же (весовой) порядок газовых компонентов. Это явление идет еще глубже – оно захватывает, вероятно, значительную часть вод стратисферы. К сожалению, недостаток точных данных не позволяет сейчас делать вполне определенные выводы.

По-видимому, только восходящие воды – минеральные источники, богатые углекислотой, дают в биосфере неустойчивые водные массы, содержащие до 10⁻¹⁰% растворенных газов (СО₂), быстро приходящие в нормальные воды с $n \cdot 10^{-30}$ % растворенных газов. Избыточная СО₂ не отвечает, по-видимому, водным массам с повышенным газовым содержанием, реально существующим в более глубоких участках земной коры, не отвечает устойчивым под большими давлениями (в более глубоких частях земной коры) растворам

двууглекислых солей, разлагающихся ближе к земной поверхности с выделением свободного углекислого газа, частью растворяющегося в воде.

Можно, таким образом, считать, что порядок $10^{-3}\%$ весового газового содержания характерен для всех вод земной коры. Дальнейшее изучение выявит, насколько этот вывод может считаться окончательным.

Это число очевидно связано 1) с давлением тропосферы и 2) с уменьшением отличного от водяных паров газового содержания подземных атмосфер. Если в атмосфере наземной на первое место выступают азот и кислород, то в атмосферах подземных на первое место выступает водяной пар (§ 54), который, очевидно, не влияет на газовые компоненты жидких водных масс.

229. Вниз от биосферы – с увеличением давления – концентрация газов, согласно закону Генри–Дальтона, должна увеличиваться, пока температура не повысится настолько, что скомпенсирует влияние давления. Есть и другие обстоятельства, ставящие предел увеличению концентрации газов.

Остановимся – кратко – на газовом режиме областей планеты ниже биосферы.

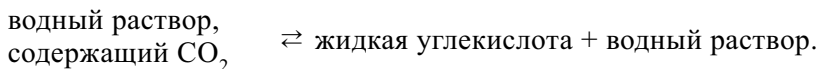
Если бы здесь действовал только закон Генри–Дальтона, то мы имели бы очень насыщенные газовые растворы, несравнимые с теми, какие мы наблюдаем для биосферы. В атмосфере азота при давлении 2500 атм., когда жидкая вода может существовать, весовое количество азота превысило бы 5% при 0°. Конечно, высокая температура этих областей (выше 300 °С) действует в обратную сторону, но все же мы имели бы здесь количества азота, превышающие те, которые мы наблюдаем в биосфере.

Но все эти рассуждения, связанные с экстраполяцией, недопустимы, так как с удалением от биосферы с ее газовой составной частью на сцену выступают явления, прекращающие существование газов в той форме, в какой мы их наблюдаем в близких нам термодинамических условиях.

230. Этому способствуют частью явления физические, частью – химические. Физические явления связаны с переходом газов в жидкость. Из обычных газов воздуха только углекислота переходит в жидкость при давлении около 36 атм. (при 0°) и в форме газа не может находиться уже на относительно небольшой глубине немногих километров. Она может приходить сюда снизу из отдельных рассеянных магматических очагов в горячем состоянии, но по охлаждении будет обращаться в жидкость.

Критическое давление углекислоты равно 73 атм. Благодаря своему переходу в жидкое состояние при давлении выше 36 атм. при обыкновенной температуре, углекислота в целом ряде случаев находится в земной коре в жидком состоянии (например, во включениях в кварцевых жилах, в гранитных и метаморфических породах, в биосфере) и должна при невысоких – обычных нам – температурах находиться в жидком состоянии уже на глубине немногих десятков (в холодных странах) или сотен метров.

Жидкая углекислота почти не растворяется в воде и почти не растворяет воду. Поэтому при достаточном давлении и при низкой температуре образуется равновесие:



Таким образом, мы имеем определенную поверхность, ниже которой газообразной CO_2 нет, – она может быть только жидкостью или в виде ионов CO_3^{2-} и HCO_3^{1-} .

Термодинамическая область устойчивости жидкой углекислоты определяется в земной коре биосферой и местами верхней частью стратисферы. Ею занят весь океан. Она ограничивает область, где могут существовать температуры среды ниже ее критической температуры, т.е. ниже 34°C . Ниже я остановлюсь на явлениях, связанных с этой особенностью углекислоты в океане; отмечу только сейчас, что здесь резко сказывается ее легкая способность к химическому взаимодействию с водой.

В связи с этим на некоторой глубине может быть перерыв в нахождении газообразной углекислоты. Но и здесь выше своей критической температуры она должна существовать, а ниже одного–двух километров от земной поверхности температуры 34° не существует, температура всегда выше.

Из определений Врублевского (1882) вытекает, что при 0°C и 30 атм. давления чистая вода будет содержать $6,49 \cdot 10^{-10}\%$ газообразной CO_2 по весу, а при $12,5^\circ\text{C}$ – $3,67 \cdot 10^{-10}\%$. Число, недалекое от $7,0 \cdot 10^{-10}\%$ CO_2 по весу, будет отвечать максимальному количеству углекислоты, которое наблюдалось в растворе в пресной воде при выходе в биосферу глубинных двууглекислых вод.

Число это едва ли реально встречается в водах глубин, вследствие химического взаимодействия между водой и углекислотой.

231. Кислород исчезает еще раньше, так как он заметно создается только в биосфере и рассеивается при углублении согласно газовым законам, не говоря уже о возможном химическом связывании.

Глубже других идет азот. Я считал одно время (1908–1910) возможным допущение, что азот идет очень глубоко внутрь земной коры, но более тщательное изучение нового материала указывает, что азот постепенно исчезает на небольшой глубине; на это указывает уменьшение его в минеральных источниках, где процент его достигает 10^{-4} – $10^{-5}\%$, и затем на то же указывает изучение геохимии азота в водных растворах.

Углеводороды, кроме метана и может быть этана, тоже на некоторой глубине должны пройти через жидкое состояние.

Таким образом, все указывает, что как будто бы мы имеем предел для газов (за исключением водяного пара) в земной коре, – где-то в верхней фреатической или нижней части стратисферы: *безгазовую зону*. Общее содержание газов в вышележащих глубоких водах едва ли превышает $10^{-10}\%$ по весу.

Газы вновь появляются ниже в областях высокой температуры.

232. Гораздо точнее наши знания о качественном составе газовых природных растворов.

Газовые компоненты с точностью известны для вод, достигающих биосферы. Часто можно с большей ИЛИ меньшей уверенностью – хотя и не прямым путем – судить на основании изучения этих вод и генезиса минералов, образовавшихся водным путем, о газовых компонентах глубинных вод.

Все указывает, что и для них удерживаются те же основные черты нахождения, какие наблюдаются в биосфере, а именно: в огромном большинстве случаев по весу преобладает один или два газа, редко приходится считаться с тремя газами; кроме того эти преобладающие газы закономерно меняются в вертикальном разрезе земной коры.

Таковыми преобладающими газами, характеризующими подклассы, могут являться 7–8 газов, а именно следующие:

O_2 , N_2 , CO_2 , H_2S , H_2 , CH_4 , C_2H_6 и, может быть, бутан и пропан¹.

Из них – по своим химическим свойствам – свободный кислород и углекислота и в меньшей степени сероводород являются наиболее важными.

Подклассы определяются по господствующим газам: азотные, азотно-углекислые и т.п.

Остановимся здесь на некоторых свойствах растворов и эмульсий этих газов в природных водах, прежде всего с точки зрения их положения в вертикальном разрезе земной коры.

Начнем со свободного кислорода.

233. Основной чертой является ограничение на нашей планете свободного кислорода пределами биосферы. В подавляющей своей массе свободный кислород есть вадозный минерал. Все воды, его заключающие, суть вадозные воды, или воды, измененные в коре выветривания. И очевидно, все химические процессы такой воды резко отличаются от химически идентичного раствора, лишенного свободного кислорода.

Присутствие свободного кислорода в воде прежде всего отражается на биогеохимическом характере воды. Оно определяет явления жизни в природной воде и регулирует ее развитие. Этим кислород влияет на все динамическое равновесие, какое представляет природная вода, самым могущественным образом.

Вода, лишенная кислорода, может обладать только анаэробной жизнью и с химической точки зрения резко противоположна воде кислородной. Это – среда восстановительных процессов, тогда как вода кислородная есть среда окислительная.

В присутствии кислорода химические явления вод, в которых растворен, например, сероводород или углекислота, резко меняются и не могут быть сравниваемы с теми процессами, которые идут в них же в его отсутствие. Растворенный кислород влияет и на многие другие компоненты природной воды.

Он влияет и на ионы или мицеллы солей. Он их окисляет, и они могут терять кислород при большом его уменьшении. Так вероятно окисление аммиачных составных частей вод; постоянно окисляются азотно-углеродистые мицеллы и ионы (образуются CO_2 и H_2O), окисляются закисные соединения в окисные, например, железа.

Кислород влияет и на газовые компоненты, окисляя и разлагая, например, CSO или H_2S .

Эти процессы играют огромную роль в истории природных вод и в химии земной коры, как мы увидим ниже.

234. Такая химическая активность кислорода, растворенного в природной воде, еще более увеличивается двумя обстоятельствами. Во-первых, тем, что газ, растворенный в воде, значительно обогащен кислородом по сравнению с газом тропосферы, который является для него основным источником ввиду большей растворимости кислорода по сравнению с азотом; и, во-вторых, тем,

¹ Вероятно, углеводороды окажутся более разнообразными.

что поверхностные воды могут иметь дополнительный окислительный характер благодаря присутствию радия, озона и, может быть, перекиси водорода.

Эти ничтожные примеси, быстро исчезающие в двух последних случаях, могут, однако, играть большую роль в экономии явления.

Благодаря жизнедеятельности зеленых организмов в поверхностных водах биосферы, количество свободного кислорода увеличивается из-за его «пересыщения» – образования мельчайших эмульсий.

235. Такой характер вадозных вод невольно заставляет обращать внимание на характер атомов кислорода, находящихся в природной воде.

Эти атомы подвижны иным образом, чем мы должны это допустить для ионов. Ионы кислорода, по нашим современным представлениям, отсутствуют в природных водах. Кислород в них находится в других состояниях – в газовом растворе, в газовой эмульсии, в сложных ионах и в мицеллах. Но так как между всеми этими состояниями кислорода есть генетическая связь (атомы кислорода переходят из одного состояния в другое, – существует подвижное равновесие), – то общее количество кислорода, удерживаемого природными водами, имеет большое значение в химии земной коры и должно быть количественно учитываемо.

По количеству *подвижного* находящегося в них *кислорода* можно иметь представление о химической активности природных вод.

К сожалению, вся эта область явлений очень мало охвачена теоретической мыслью и экспериментом. Определение связанного кислорода в природных водах всегда непрямое.

По свободному кислороду резко отличаются верхние вадозные воды биосферы от всех остальных. Они имеют огромный резервуар для получения свободного кислорода – атмосферу, с которой находятся в непрерывном химическом обмене. Отсюда может черпаться кислород в сложные комплексы – и ионы и мицеллы – идут в воде реакции окисления.

236. Чрезвычайно важно сейчас точное определение той границы, до которой доходит в подземных водах *свободный кислород*, точное определение так называемой *кислородной поверхности* (I, § 240).

Очень вероятно, что обычно даваемое объяснение его исчезновения не охватывает всего явления. Быстрое исчезновение кислорода на небольших глубинах от земной поверхности – и соответственное прекращение аэробной жизни – объясняется обычно тем, что он до конца или потребляется этой жизнью – мы знаем, что в водах живут организмы, довольствующиеся очень малым его количеством, – или же идет на окисление – химическое или биохимическое – окружающей минеральной среды (например, соединений железа).

Но должна существовать и еще одна причина его исчезновения. По мере углубления в среду стратисферы или метаморфической оболочки вода входит в газовую среду, в которой кислорода вообще нет, но есть углекислота и азот. Вследствие этого парциальное давление кислорода увеличивается, и кислород уходит из газового водного раствора. Он должен все более и более рассеиваться в этой лишенной кислорода среде. Должно быть, здесь существует не известное нам равновесие, определение которого было бы очень важно. К сожалению, сейчас сколько-нибудь надежные данные отсутствуют.

То, что мы имеем идущие снизу воды, иногда вполне лишенные растворимого кислорода, указывает, мне кажется, все же на то, что остатки кисло-

рода поглощаются иным процессом – может быть жизнью, может быть химическим. Но все же одной из главных причин его исчезновения с глубиной должно являться изменение его парциального давления при переходе воды в газовую среду, его лишенную.

Другой, не менее важной, причиной является связывание его в те подвижные равновесия, какими в водах являются сложные ионы, такие, как SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} . Эти кислородсодержащие ионы находятся во всех фреатических и ювенильных водах, нам доступных или по отношению к которым можно делать заключения, опирающиеся на факты. Можно только заметить, что в ювенильных или глубоких фреатических водах исчезают ионы SO_4^{2-} и заменяются ионами HS^- и может быть появляются молекулы GSO (или связанные с ним ионы? Вместо CO_2 ?). Растворенный кислород должен расходоваться на образование сложных кислородсодержащих ионов, заключающих кислород, и, может быть, этим объясняется исчезновение нацело растворенного кислорода.

237. Но само это исчезновение не является, по-видимому, общим явлением. Оно наблюдается далеко не всегда. Обычно нахождение свободного кислорода в анализах объясняется ошибками наблюдателя или при взятии проб, или при анализе. Тщательное критическое изучение имеющихся анализов привело меня к убеждению, что это объяснение неприложимо к целому ряду случаев. Поэтому я ввожу в приводимые анализы и кислород. Недавние тщательные анализы Ш. Муре и Лепана (1923), в которых они приняли особые меры предосторожности при взятии проб, дали кислород в газах глубоких терм.

Явление это более сложно, чем мы сейчас думаем, и требует нового рассмотрения.

Открытие пластовых, сильно радиоактивных, вод заставляет думать, что есть радиогенное образование кислорода в глубоких слоях биосферы и ниже (§ 324).

Историю кислорода для природных вод должно, учитывая все сделанные указания, выразить сверху вниз следующей схемой.

Биосфера. Постоянно пополняемый жизнью источник кислорода: кислородные воды – *вадозные воды*.

Стратисфера. Быстрая потеря кислорода благодаря прежде всего его диффузии в среду, его лишенную. Все воды отсюда и ниже чрезвычайно обеднены или лишены кислорода.

238. Все остальные газы помимо процессов, связанных с биосферой, с живым веществом ее населяющим, приходят в природных водах на земную поверхность и из земных глубин.

Среди них совершенно исключительное значение, сравнимое с кислородом, имеет углекислота. Это связано с ее всюдностью и с ее физическим и химическим характером.

За исключением верхней – холодной – части биосферы, где CO_2 наиболее устойчива в жидком состоянии, она в газообразном состоянии не менее охватывает биосферу, чем свободный кислород. Ее химические свойства делают ее еще более химически активной в условиях земной коры, чем кислород. Углекислота при соприкосновении с водой и с ее химическими компонентами немедленно входит в целый ряд сложнейших химических реакций, находящихся в условиях подвижных равновесий.

Углекислота не ограничена одной геосферой, а охватывает всю земную кору или по крайней мере ее наиболее известную нам часть. Она, с одной стороны, играет огромную роль в химии биосферы, где она является источником, на котором строится вся жизнь, получающая из нее подавляющую часть своих углерода и кислорода; а с другой – проникает в стратисферу и метаморфическую оболочку и снизу постоянно поступает в биосферу. Понятно поэтому, что ее значение, взятое в целом, в строении планеты (и природных вод) значительно больше значения свободного кислорода.

Являясь основой жизни, она заходит глубоко на несколько километров, в среднем не менее 10 км от уровня океана, в земную кору, по-видимому, определяя в значительной мере химизм и магматической геосферы.

Другими словами – вся область планеты, в которой находятся воды, доступные, в данный момент исторического хода знания, нашему точному научному изучению, лежит в пространстве, ею проникнутом.

Этим одним уже определяется значение ее в истории природных вод.

239. Углекислота в пределах температуры и давления этой области медленно и стихийно входит в химическое соединение с водой – как с водой пресной, так и с водой соленой или рассольной.

Наши теоретические представления о характере химического взаимодействия между H_2O и CO_2 – в пределах указанной среды – неполны и несовершенны, связаны с логически неразрешенными противоречиями, однако они все же позволяют нам для наиболее доступных вод, – всех вод биосферы, стратисферы и водных жил (минеральных источников) – дать научное объяснение, позволяющее – в первом приближении – выразить явление математически.

Два явления теоретически не проведены до конца. Во-первых, химический характер воды: вода в биосфере – в ее термодинамических условиях – является телом амфотерным (слабым основанием и слабой кислотой). Ее кислотность, как мы увидим, увеличивается с повышением температуры и для глубоких вод – и водяных паров в особенности, – химические взаимодействия между CO_2 и H_2O должны отражать происходящее резкое изменение химических свойств воды. Характер изменения, этим путем вносимого, нам неясен.

Все указывает, что CO_2 и H_2O – уже в условиях биосферы – дают химические соединения, но при этом упругость паров углекислоты, входящей в соединение, не меняется для главной массы углекислоты, а иногда и для всей углекислоты, находящейся в химическом соединении. HCO_3^{1-} – «ион», создаваемый при этом химическом взаимодействии, – проявляет себя (по своему парциальному давлению в окружающей газообразной среде) как молекула газа CO_2 , которая образуется при его диссоциации. Он легко разлагается, давая газ CO_2 .

Мы принимаем это в наших вычислениях как факт, хотя он противоречит обычному понятию о химическом соединении. В океанической воде (§ 513) ионы HCO_3^{1-} относятся к воздушной среде почти как растворенные молекулы газа CO_2 .

240. С точки зрения классификации природных вод этот факт имеет большое значение, ибо в морской, океанической воде резко преобладает HCO_3^{1-} над CO_2 . В зависимости от того, будем ли мы принимать углекислоту воды

как находящуюся в растворе, или же не будем считаться с газовым характером иона HCO_3^{1-} окружающей среде (полусвязанная углекислота), морская вода попадает в подкласс $\text{N}_2\text{-O}_2$ или же в подкласс $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-O}_2$.

Я вернусь к этому вопросу ниже. Здесь же необходимо сделать несколько замечаний о современном представлении о химическом взаимодействии $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2$.

В природе значение этих явлений было впервые указано Пелиго (1855), и во всей грандиозности процесс был впервые охвачен, частью разрешен и поставлен на очередь дня Т. Шлезингом (1878) (§ 445). Он был приведен в форму, удобную для работы, когда уже в XX в. вошли в сознание представления об электропроводности вод, выяснилась константа рН (ион H^{1+}).

241. Оставляя в стороне то усложнение, которое вносится в наши рассуждения возможным образованием в водах соединений CO_2 с H_2O , более богатых водой, чем H_2CO_3 , например, образованием H_4CO_4 или $\text{CO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, мы принимаем за исходное неизбежное образование в воде при вхождении в нее газообразной CO_2 соединения H_2CO_3 , резко выраженной кислоты. Эта кислота H_2CO_3 немедленно диссоциирует, давая HCO_3^{1-} и H^{1+} . Диссоциация идет дальше, и HCO_3^{1-} диссоциирует на HO^{1-} и CO_2 .

В присутствии в воде металлов идут новые реакции. Образуются соли MCO_3 и $\text{MCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{CO}_3$.

Они также электролитически диссоциируют, давая $\text{M}^{1+2+\dots}$ и CO_3^{2-} и M^{1+} , $^{2+\dots}$ CO_3^{2-} , H^{1+} и HCO_3^{1-} .

При вхождении и соприкосновении CO_2 с H_2O вся вода – пресная и соленая – приходит в энергичное молекулярное движение, образуются разнообразные подвижные равновесия.

HCO_3^{1-} и CO_2 влияют на газовый обмен, так как каждая из них отвечает парциальному давлению одной молекулы CO_2 . Вследствие этого в биосфере устанавливается поглощение водой CO_2 из воздуха или отдача ее в воздух. То же в другой обстановке идет и в подземных водах.

Изменяются и другие физические свойства: все здесь идущие химические взаимодействия связаны с тепловым эффектом, и в то же время благодаря образованию ионов H^{1+} и HO^{1-} резко меняется электропроводность растворов в зависимости от их количества. Электропроводность может быть измерена очень точно: мы выражаем ее в виде рН; на основании той или иной величины рН можно судить о характере тех ионов, которые в данной воде находятся.

Я привожу дальше величины рН для природных вод. Надо заметить, что, когда рН меньше 4, бикарбонаты диссоциированы целиком, т.е. существуют только $\text{M}^{1+2+\dots}$, CO_3^{2-} , H^{1+} и HCO_3^{1-} , CO_2 . Когда рН достигает 9,12 и выше, свободная CO_2 не может существовать, она вся в соединении. Когда рН меньше 8,35, карбонаты не могут в нем существовать, т.е. нет CO_3^{2-} , когда рН больше 11,59, бикарбонаты не могут существовать, т.е. нет HCO_3^{1-} , – случай, для природных вод не наблюдаемый.

242. Эти свойства природных вод – и, в частности, сохранение парциального давления CO_2 неизменным при нахождении ее в виде иона HCO_3^{1-} – оказывают резкое увеличение поглощения CO_2 природными водами в количествах, значительно больших, чем это вытекает из растворимости газообразной CO_2 в химически чистой воде.

Источником углекислоты для поверхностных вод, для океана и морей и всех вод суши, является тропосфера.

Но все эти воды пропитаны жизнью, и в них поступает и из них изымается угольная кислота биохимическими процессами.

Поэтому во всех природных водах существует еще более сложное равновесие, которое отражается и вне воды в воздушную среду, чем то, которое изучается и дается физико-химиками.

Понятие о нем дает следующая схема (рис. 5).

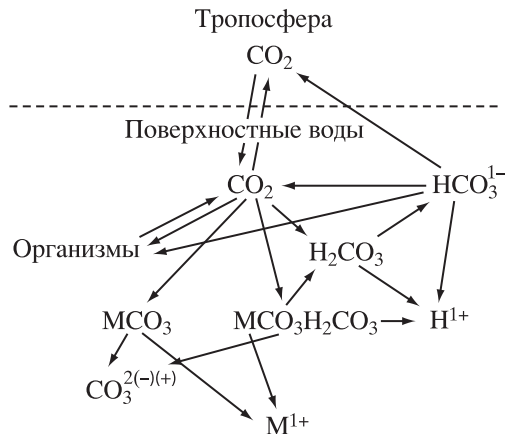


Рис. 5. Круговорот углекислоты

243. Углекислота тропосферы, откуда поверхностные воды ее получают, тройкого происхождения: 1) углекислота, выделяемая водами (равновесие вода \rightleftharpoons газ), 2) выделяемая наземными организмами, и 3) углекислота, выделяемая из глубоких слоев земной коры – из вулканов, минеральных источников, грязевых сопок, газовых струй.

Генезис этой глубинной углекислоты не вполне ясен. Один источник несомненен, но неясно, объясняет ли он всю углекислоту, приходящую в биосферу из газовых струй и водных растворов глубоких областей земной коры.

Образование части этой углекислоты вполне объясняется изменением карбонатных – осадочных и метаморфических – пород во время процессов метаморфизма и растворения магмой прилежащих известняков и доломитов.

В этом переходе карбонатов кальция (и магния) в силикаты и алюмосиликаты или в алюмосиликатовые магмы все нам известные выделения углекислоты в водах получают достаточное обоснование: это количественно процессы сравнимого порядка.

Углекислота эта в таком случае по существу вадозного происхождения, так как исходные карбонатные породы почти все биогенного – морского – происхождения.

Однако неясно, можно ли придавать всей глубинной углекислоте такое происхождение. Для наиболее глубоких вод, связанных с магматическими процессами, например, в процессах, давших начало пегматитовым или конкреционным жилам (I, § 100 и сл.), генетически связанным с петрогенезом массивных кислых пород, несомненно мы имеем дело во многих случаях с выделением минералов из вод, чрезвычайно богатых углекислотой, связанной, может быть, с первичной углекислотой магматических очагов. Такого же происхождения и углекислота – в одной своей части по крайней мере – вулканических и послевулканических явлений.

244. Изучение природных вод в связи с находением в них углекислоты указывает, что газообразная атмосфера, проникающая в глубокие слои биосферы и стратисферы, богата углекислотой: подземный воздух состоит в значительной своей части из углекислоты. Это явление начинается у самой земной поверхности.

Прямые наблюдения мы имеем для почв и для водных грязей.

Углекислая и углекисло-азотная атмосфера, которая господствует в почвах с кислородом и особенно в илах (без кислорода), заставляет думать, что то же явление будет наблюдаться и глубже в биосфере за пределами кислородной поверхности и в стратосфере. Эта последняя атмосфера должна быть лишена или почти лишена свободного кислорода.

К сожалению, подземные газовые атмосферы земной коры не изучены. Глубокие газовые струи не дают материала достаточно обширного, и имеющиеся данные не обработаны. Главный материал дают сами воды, их газовый режим в связи с их положением в вертикальном разрезе земной коры.

245. Нахождение углекислоты в глубоких скважинах, достигших напорных – пластовых вод, ставит перед нами загадки, которые мы не можем сейчас разрешить из-за отсутствия данных. Но все же необходимо наметить и поставить некоторые вопросы, связанные с нахождением углекислоты.

Прежде всего ясно, что углекислота в водах пластовых – верховодке и напорных водах – начинает резко преобладать, причем явление имеет такой вид, как будто в стратосфере и в нижней биосфере начинает исчезать и азот, а не только кислород.

Это имело место и в газах Гренелльской скважины в Париже, на которой явление было установлено впервые Пелиго (§ 698). Эти пресные воды с глубины 40 м ниже ложа Сены заключали 23 см³/л газов и имели состав 96,4% CO₂ и 3,6% N₂, т.е. по весу $4,32 \cdot 10^{-3}\%$ CO₂ и $1,25 \cdot 10^{-4}$ N₂. Кислорода в них не было. Надо думать, что водные горизонты, откуда идет эта вода, *потеряли азот*, может быть благодаря его уходу в связи с парциальным давлением его в окружающей газовой атмосфере, но возможно и благодаря химическим процессам.

В верховодке мы имеем то же преобладание CO₂ – по тем немногочисленным данным, какие мы имеем.

Как глубоко идет такая вода, богатая CO₂? Встречается ли она с водой, содержащей фреатическую углекислоту или нет? Лежит ли ниже слой вод, бедных CO₂ и содержащих только N₂? Эти вопросы можно ставить, но ответа на них нет, так как газовых анализов подземных вод не делается.

Обилие углекислоты в верховодке и в напорных пластовых водах затрагивает и другой вопрос – о количестве углерода в земной коре. Углекислота подземных атмосфер в расчетах упущена. Если мы примем, что CO₂ здесь будет около $4 \cdot 10^{-3}\%$ по весу, то количество углерода в этой форме будет составлять заметную часть всего углерода.

Но все указывает, что есть воды, насыщенные и пересыщенные CO₂, идущие снизу, существование которых объясняет выделение углекислых струй. В таком случае этот пропущенный в исчислениях углерод еще поднимает общее его содержание в земной коре.

246. Во всяком случае, несомненно существование фреатических и ниже-вадных вод, бедных азотом, углекислая атмосфера которых состоит почти нацело из CO₂.

Но в целом ряде случаев мы наблюдаем воды, которые, наряду с углекислотой, содержат в растворе азот и указывают на условия среды, дающие место нахождению обоих газов.

Эти воды частью находятся в пределах биосферы – воды вадозные. но частью – воды, поступающие из глубоких горизонтов.

Эти глубокие воды заставляют думать, что углекислотная атмосфера глубин сменится при углублении подземной атмосферой азотной.

Вероятно и возможно, что в разных участках земной коры есть области, где воды встречаются главным образом углекислоту, и другие участки, где они встречаются азот.

И те и другие всегда богаты водяными нарами. Подземная атмосфера будет водно-углекислая, водно-азотная и т.п.

Очевидно для водных растворов водный компонент подземной атмосферы входит в растворитель и для характеристики воды не важен.

Дело будущего разобраться в этом явлении; для этого необходим систематический и тщательный анализ газовых компонентов подземных вод.

Сейчас открывающаяся перед нами картина указывает на то, что мы имеем воды – на поверхности – углекисло-азотно-кислородные, ниже переходящие в углекислые, углекисло-азотные и наконец в азотно-углекислые.

247. Обратимся теперь к нахождению азота. Преобладание его в тропосфере вызывает постоянное его присутствие во всех поверхностных водах, являющихся водами, богатыми азотом – $N_2-CO_2-O_2$ и $CO_2-N_2-O_2$. Чисто азотных вод здесь нет.

Азотные воды, в которых нет ни CO_2 , ни O_2 , в количествах того же порядка, что и азот, являются характерными для вод, идущих снизу, – для некоторых минеральных источников.

Азот есть тот газ, который, может быть, поступает в биосферу в водах (и газовых струях) из очень глубинных частей земной коры (I, § 241) доступных нам в термах.

Идет ли он очень глубоко в земную кору – мы, однако, сейчас утверждать не можем, так как в этих глубоких водах резко увеличивается содержание соединений азота, аммониевых. Любопытно, что в связи с увеличением азота и с уменьшением или с исчезновением углекислоты идет появление метана – азотно-метановые воды.

Как будто вместо кислородсодержащих углеродных газов появляются водородсодержащие углеродные же; CH_4 заменяет CO_2 ?

248. Азотные воды наблюдаются не только для вод глубоких, за пределами биосферы. Часть их – вероятно, исключительно азотно-углекислые воды – могут быть вадозными.

Работа последнего времени, может быть для многих напорных подземных вод, для некоторых нефтяных вод, указывает с несомненностью на существование в них биогенных процессов, на их принадлежность целиком к биосфере. Это открытие анаэробных бактерий в водах глубиной до километра, а вероятно и больше, сделано Бастином в Америке и в Бакинском районе у нас Н.Г. Ушинским (1925–1926). Эта жизнь идет далеко, за границы кислородной поверхности и резко меняет свойства вод.

Химические реакции этих вод главным образом характеризуются тем, что они идут в среде, лишенной свободного кислорода. В связи с этим, свойства этих вод отличны от растворов, к которым мы привыкли в наших лабораториях. Входя в биосферу, эти воды являются жадными поглотителями кис-

лорода. Попадая в области выше кислородной поверхности, они вследствие этого нестойки и резко изменяются.

249. Происхождение азота несомненно глубоких вод – вод фреатических – неясно и, может быть, сложно.

В очень многих случаях этот азот происходит из тропосферы. Кислородные воды земной поверхности, теряя кислород (§ 563), перейдут в очень обычные, как указано, азотно-углекислые воды.

Но, очевидно, воды, связанные с вулканами, а в большей своей части и минеральные источники иного происхождения содержат азот другого, происхождения, которое неясно.

По отношению к азоту есть еще одно обстоятельство, которое заслуживает серьезного внимания. Изучая газы минеральных источников, Мура и Лепап выяснили, что отношение азота к благородным газам (кроме гелия) то же самое, какое наблюдается в воздухе. Отсюда они заключили, что это отношение создано еще в космическую эру нашей планеты. Это очень распространенное утверждение сейчас вызывает большие сомнения. Новые исследования свободно выделяющихся газов, газовых струй, его не подтверждают. Также в вулканах такой простоты нет, а в минералах есть указания на азот без благородных газов. Вопрос требует переисследования – изучения растворенных газов и газов первичных минералов. Это надо сделать тем более, что вероятно существование глубинных азотных минералов, соединений, распадением которых получаемый азот не должен содержать благородных газов.

250. Таким образом, все же ясно, что, изучая количество растворенного азота в водах и определяя другие газы (особенно – учитывая растворенные благородные газы), есть возможность подойти к решению важных вопросов в истории природных вод, о которых сейчас можно только догадываться.

Очень важно обратить внимание на отношение: «азот: благородные газы», о котором для растворенного азота мы ничего не знаем. Тем более, что для ксенона и криптона их водные растворы должны являться их максимальными концентрациями в земной коре.

Возникает еще один вопрос, требующий разъяснения, который может быть здесь только отмечен.

Есть анализы для минеральных источников, которые заставляют думать, что воды могут быть не насыщены в достаточной степени газами: азота может быть мало вследствие того, что другие газы – CO_2 и H_2S , например, перешли в ионы, и общее количество газов в земной коре уменьшается с глубиной.

Это вопрос, который разрешит будущее.

251. Для *сероводорода* мы не имеем сейчас случаев, где он бы являлся господствующим газом. Чисто сероводородных вод мы не знаем.

Но азотно-сероводородные или углекисло-азотно-сероводородные подклассы для вод обычны.

И все же и для сероводорода ясно, что есть определенная связь его содержания с глубиной вод (от уровня океана).

Такие сероводородные воды по их газовому компоненту могут идти далеко в глубь земной коры. Для них не исключено ювенильное происхождение – в связи с теми данными, какие дает изучение истории сернистых металлов. Фреатические выделения вод этого типа очень обычны, хотя анализ газов их совершенно нет. Вадозные сероводородные воды более распространены, чем

мы думали, так как азотные воды с бактериальным населением очень богаты H_2S ; как раз такие воды встречены при бурениях в нефтеносных областях на глубинах до километра и глубже (§ 248). Того же типа с сероводородом биохимического происхождения придонные воды озер и морей, нередко очень своеобразные (Черное море, § 739). Очень своеобразен H_2S , получающийся путем распада при окислении (химический процесс не изучен) GSO , когда воды фреатические – углекисло-азотные главным образом – попадают в слои выше кислородной поверхности.

В коре выветривания, в биосфере они изменяются еще быстрее азотных вод, так как, помимо поглощения кислорода растворением, они его поглощают благодаря окислению сернистых соединений, давая ионы SO_4^{2-} . Сероводородные воды в более глубоких областях аналогичны углекислым водам, являясь могучим агентом химических реакций. С ними связаны в своем происхождении многочисленные металлические тела, и характер их ионов во многом отличен от обычных ионов растворов, так как часть катионов HO^{1-} замещена катионами HS^{1-} .

Это распадение теоретически неясно.

Открытие глубинных сероводородных бактерий Н.Г. Ушинским и Бастином (§ 248) очевидно расширит область сероводородных первичных вод вадозного происхождения.

252. Группа *углеводородных* вод наименее изучена не только с точки зрения количественных в ней существующих – в водных растворах – соотношений, но и с качественной точки зрения.

Среди углеводородов преобладают, по нашим современным знаниям, *предельные углеводороды* – метан, этан, вероятно бутан и пропан. По мере увеличения температуры пластовых вод, где они часто наблюдаются – разнообразие углеводородных газов увеличивается; едва ли для них дело ограничивается одними предельными углеводородами. В нефтях, богатых *нафтенами* или *ароматическими углеводородами*, неизбежно должны входить в раствор в сопровождающие нефти воды и углеводороды этого рода. До сих пор это не отмечено, насколько знаю, в научной литературе.

Все богатые углеводородами пластовые и поверхностные воды теснейшим образом – прямо или косвенно – связаны с явлениями жизни.

Можно сейчас уже выделить здесь два случая: 1) биохимические процессы, связанные с поверхностными (болотными) и подземными почвенными (рисовые поля, например) и иловыми (грязевыми) водами, дающие начало *метану*, 2) более сложные углеводородные воды, связанные с метаморфизацией остатков организмов, с образованием *нефтей, углей* и т.п. Едва ли сейчас можно сомневаться в биогенном метаморфическом процессе образования всех больших нефтяных залежей. Для напорных нефтяных вод помимо метана господствуют иногда этан, возможно пропан, бутан.

Но далеко не всегда углеводороды вод связаны с жизнью.

Есть *метан, поднимающийся из более глубоких частей земной коры*. Возможно, что и этот метан связан с процессами метаморфизации остатков живого вещества, происходящими в стратифере и ниже. Но такое объяснение образования всех углеводородов было бы преждевременным и вероятно ошибочным. Есть указания на более общий процесс с глубиной: замену CO_2 углеводородами.

Именно для метана исключительная связь с жизнью сомнительна, так как этот легкий газ имеет свойства, напоминающие водород. Известные его синтезы в лаборатории чрезвычайно разнообразны и часто независимы от органических соединений. Аналогичные процессы должны идти в магмах. Метан наиболее совершенный, труднее всех углеводородов сжижаемый газ.

Биогенный – в прямом смысле – метан природных вод во многом в своей истории аналогичен истории CO_2 и H_2S того же происхождения.

Совершенно особенными являются углеводородные газы *пластовых вод нефтяных месторождений*, которые, вообще во всей своей истории и в своем химическом составе стоят отдельно от прочих пластовых вод; это – воды почти всегда соленые, реже пресные (солончатые) и слабые рассолы (§ 802). Возможно, что по крайней мере часть их, связанная с генезисом самих нефтей, является метаморфизованной поверхностной водой одного с ними процесса. Во всяком случае эти воды являются результатом взаимодействия между подземной водой и нефтью и содержат включения нефти. Так как воды эти часто горячи – 50° и выше (есть выше $80\text{--}90^\circ\text{C}$), то часть обычно жидких углеводородов нефти (например, бутан и др.) переходит при этих условиях в газообразное состояние, дающее газовый раствор, неустойчивый при более низких температурах. Эти растворы не изучены.

Есть *метановые* воды с резким преобладанием среди газовых компонентов метана. Может быть такие подклассы нередки. Для других углеводородов отмечены только их комбинации. – с метаном, углекислотой, азотом.

Обилие минеральных источников (водных жил), выделяющих углеводороды, указывает, вероятно, на особый тип вод с первичными углеводородами. Но для решения этого вопроса необходимо нахождение их в водном растворе (чего пока нет) и уверенность в независимости таких минеральных источников от пластовых вод.

253. Несомненно есть случаи *водородных вод*, связанных, по-видимому, не с биосферой, а с более глубокими земными оболочками. Это – воды, в которых растворенным газом, по весу господствующим или одного порядка с господствующими газами, является *свободный водород*. Можно только их отмечать и ждать достаточного накопления данных. Это – воды, связанные с магмами и вулканическими процессами. Не исключена возможность таких вод и в пределах биосферы.

254. Можно с уверенностью сейчас утверждать, что рассмотренные газы (I, § 100 и сл.) не охватывают всех газовых компонентов.

За пределами нашего непосредственного изучения в глубоких областях *земной коры* – в областях фреатической и ювенильной – наблюдается одновременно с указанными выше газами (за исключением кислорода) присутствие еще других – CO и, должно быть, CSO , не говоря о более редких (как, например, производные муравьиной кислоты). Они могут являться компонентами водных растворов, там находящихся.

Среди этих газов нельзя не обратить внимание на *тиоуглекислоту* – CSO – так как это единственный из найденных в природных водах газов, который не вполне доказан в биохимических процессах.

Газовые равновесия богатых водою магм, например пегматитовых жил, выводят нас из области водных растворов в новую малоизвестную богатую газами (в том числе парами воды) область магм (§ 297 сл.).

255. Теоретически ясно, что подклассы вод, выделенные по газовым компонентам, при той тесной связи, какая наблюдается в господстве разных газов в определенном вертикальном распределении геосфер, должны иметь основное значение в классификации вод.

К сожалению, запущенность изучения этих явлений в научной работе не позволяет фактически провести такое рассмотрение, и приходится к нему только стремиться.

Сколько возможно, я это делаю в этой книге. И при таком неполном охвате явления все же ясно, что газовые подклассы выдерживаются и в классах вод (по концентрации) и в больших подгруппах природных вод (выделенных на основании фазовых состояний воды).

При подразделении на подклассы, удобно обращать внимание на господствующие газы, хотя бы их было несколько. Где нужно, более мелким подразделением подкласса будет *ряд* (§ 335).

256. Из других компонентов классификационное значение имеют еще твердые компоненты – твердые тела, переходящие в раствор при соприкосновении с водой¹.

Эта способность воды переводить ряд твердых тел в жидкое состояние в течение веков возбуждала научную мысль. Наши современные представления о состоянии вошедших в водный раствор твердых компонентов сводятся в конце концов к двум основным представлениям, которые сложились приблизительно одновременно в 80-х годах прошлого столетия в двух теориях растворов – С. Аррениуса и Д.И. Менделеева (§ 444 и сл.). Аррениус допускал электролитическое *разложение* при растворении твердых компонентов – гидrolитическое разложение. Молекула сама, растворяясь, распадалась на заряженные разного знака электрическими зарядами атомы или комплексы атомов (ионы). Д.И. Менделеев представлял себе раствор как *присоединение* молекул воды к молекулам растворяющегося твердого тела – образованием жидких гидратов, сливающихся с массой воды, которая сама состоит из сложных совокупностей молекул, отвечающих формулам $(H_2O)^n$. Долгое время эти оба представления исключали друг друга, но сейчас они оба необходимы для научного выяснения того сложного явления, каким является природный водный раствор.

Изучение химически чистой воды – или почти химически чистой – указало на существование в ней одновременно обоих явлений, предполагавшихся Аррениусом и Менделеевым, – во-первых, *распадения* некоторых молекул воды на составные ионы (H^{1+} и HO^{1-}) и, во-вторых, *соединение* других ее молекул в сложные комплексы $(H_2O)^n$.

То же самое – одновременное присутствие обоих явлений – надо допустить и для твердых компонентов, образующих жидкий раствор при взаимодействии с водой.

257. По нашим современным представлениям эти компоненты будут наблюдаться в растворах или в виде ионов или в виде гидратных комплек-

¹ Я оставляю в стороне жидкие компоненты. Они большей частью не попадают в обычный солевой остаток и улетают при кипячении воды. Их значение в истории многих природных вод (например, в нефтяных буровых водах) гораздо более значительно, чем это обычно думают. Они требуют изучения.

сов в связи с концентрацией раствора. В рассолах мы имеем дело почти исключительно с гидратными группами, в разведенных, пресных водах – с ионами.

Ионы заряжены положительно или отрицательно и находятся в непрерывном движении, независимые друг от друга. При концентрации раствора ионы соединяются между собою. Начинают выявляться здесь образования, напоминающие кристаллические сетки однородного твердого вещества. Молекулы воды в них не входят.

Надо иметь в виду, что все такие представления, несмотря на все их удобство в работе иногда и на их большую значимость в наших количественных выводах, всегда заключают значительную долю гипотезы и схемы.

В них, например, не отражается разнородность самого растворителя, в данном случае воды (§ 181).

Сложный характер воды отражается несомненно и на тех сложных гидратах, которые могут образовываться в равновесиях рассолов и богатых солевым остатком соленых водах. Но эти законности не выяснены.

Эта сложность наших представлений и невозможность опытного решения строения раствора – количества его ионов, характера и количества одновременно находящихся гидратных комплексов – в огромном большинстве случаев не позволяет, как это обычно делается, брать в основу наших представлений и научной классификации вод эти, еще лишь качественно – и то не вполне – выяснившиеся, выражения их состава.

Мы можем точно выразить лишь одну часть явлений из двух (ионы) и то только в некоторых случаях, в том числе для ряда обычных пресных вод. Для огромного большинства случаев все наши выражения гипотетичны, – можно без всякой натяжки утверждать, что они фиктивны.

Для полной научной классификации надо их отбросить. В связи с этим я не буду пользоваться этими выражениями и в тех случаях, когда это возможно, – в случаях вод пресных и солоноватых.

Еще меньше можно пользоваться другим выражением состава вод – с помощью эквивалентных чисел (неправильно называемых американскими гидрохимиками геохимической характеристикой природных вод).

Удобная для решения некоторых практических задач, главным образом для пресных и слабо соленых вод (§ 450), она разделяет все недостатки ионной классификации, прибавляя новые, ибо, стремясь к быстроте работы, она не стремится к углубленному исследованию явления, довольствуясь первым грубым приближением. Увлечение этим приемом исследования мне представляется большой ошибкой. До сих пор научное значение ее невелико, и не видно улучшения в этом отношении. Попытки выявить этим путем происхождение вод – их связь с морскими отложениями или с массивными породами – едва ли выдерживает научную критику.

Эта классификация является недостаточно широкой базой для охвата всех природных вод.

258. В основу должен быть положен признак, который не только охватывал бы весь солевой остаток без исключения (а не только солевой остаток пресных вод и крепких рассолов), но в то же время мог бы одновременно охватить, в случае надобности, и газовые и другие компоненты, входящие в природный раствор.

Геохимия дает такой всеохватывающий признак в *весе* и в *количестве атомов*, заключенных в растворе, в том числе и в солевом остатке. Выражая этим путем «солевой» остаток, мы получаем широкую и удобную базу для всех заключений.

Она позволяет точно определять – в подавляющем большинстве случаев – и тот химический элемент, который не охватывается – при современном химическом анализе – прямым определением, но который имеет такое огромное значение (§ 235) – подвижный, активный *кислород*.

Он входит в ионы и в гидратные комплексы; кислорода (и водорода), гидратных комплексов, т.е. связанных с растворенными телами молекул воды, мы при этом не учитываем. Солевой остаток охватывает только элементы вне молекул воды.

259. Совершенно ясно, что наряду с солевым остатком одинаковым образом могут быть выражаемы и все другие компоненты при атомном их исчислении.

Так от ионов отличны, но могут быть просто выражены в весовых или атомных процентах, химические элементы, которые находятся в рассеянном состоянии – будут ли то растворенные их атомы, молекулы, или распадающиеся атомы и т.п.

Это – сложные явления, может быть разнородная группа явлений, по отношению к которой мы не имеем еще вполне точной удобной для научной работы логической модели.

В каком виде, например, во всех водах находится йод или радий, которые легко могут быть выражены в весовых процентах – элементы, находящиеся в *рассеянном состоянии*?

Если часть йода находится в виде ионов J^{1-} или JO_{3}^{1-} , то не может в таком виде находиться весь йод, т.к. йод выделяется из воды в газообразном состоянии, т.е. в виде незаряженных атомов или молекул, пары йода к тому же растворяются в воде; свести их к газовым растворам едва ли возможно, – на это нет никаких данных. Элементарный йод растворяется иначе, чем ион йода. Так, например, часть йода в соляных буровых (нефтяных) водах в Бакинском районе растворяется в хлороформе, чего не делают его ионы (В.Т. Малышек).

Таковы и другие случаи, например, нахождение хлора в свободном состоянии в водах (например, по Лаперрину, в рассольных и соленых водах Сахары, где воды являются вследствие этого ядовитыми).

260. Самое простое – и в то же время в полном соответствии с фактами – будет выражать эти рассеянные элементы только в весовых или атомных процентах, не предпреляя дальнейшего уточнения форм их нахождения.

Среди всех таких отдельных атомов особое значение получают сейчас *радиоактивные элементы*, причем определенное количество этих находящихся в водных растворах атомов находится в распаде, а часть при этом здесь же создается. В каком состоянии находятся атомы урана, радия или радона, быстро или медленно разлагающиеся или зарождающиеся? Можно, кажется, утверждать, что это не ионы в обычном понимании этого слова. Количество в процентах мы можем выражать их точно и четко, и этим пока должны довольствоваться.

Радиоактивные атомы в водных растворах являются центрами изменения раствора и этим приобретают для истории природных вод огромное значение.

Особенно радий и радиевая эманация должны сейчас привлекать к себе наше внимание, т.к. энергия, выделяемая при распадении и создании их атомов, так велика, что она должна разрушать молекулы воды – создавать молекулы H_2O_2 , O_2 и H_2 вместо $(\text{H}_2\text{O})^n$.

Очень возможно, что в конце концов этим путем будут образовываться такие неустойчивые состояния растворов, которые не допустят образование богатых радием растворов, – будут происходить взрывы и распыление растворов. Может быть найдется здесь ключ к объяснению сложных и важных магматических и вулканических явлений. Наибольшие количества радия наблюдаются до $10^{-8}\%$ (в пластовых соленых нефтяных водах – § 802 и сл.), наибольшие количества радона – в поверхностных и пластовых водах, связанных с выветриванием урановых руд – до 10^{-11} – $10^{-12}\%$.

Пределы содержания этих элементов нам пока неизвестны.

261. Точно так же легко могут быть выражены – в процентах веса или числа элементов – и *коллоидальные дисперсные* компоненты вод (по крайней мере в огромном большинстве случаев), *газовые компоненты* и *компоненты жидкие*.

Наконец, так же можно определять и более грубые составные части раствора – механические мути от коллоидальных, через грубо дисперсные системы до видимой глазу ясной механической мути, которая так же, как и все остальные компоненты природных вод, не является случайной и характеризует некоторые природные воды, реки и озера.

Наконец в той же форме – в весе сторонних молекулам H_2O элементов – может быть выражено и живое вещество – живые организмы, проникающие большинство природных вод и являющиеся могучим фактором их равновесий.

Для микроорганизмов это имеет место всегда, ибо неизбежно при анализе вод получается их состав вместе с другими компонентами (например, состав бактерий, населяющих воды), так как при анализе не отделяют нацело микроорганизмы от водного раствора, – это работа слишком дорогая, длительная, сложная и не всегда возможная.

Эта общность единого для всех компонентов способа количественного их выражения и независимость его от меняющихся теоретических представлений заставляет держаться его при нашем изложении. *Мы будем выражать воды в весовых или атомных процентах элементов.*

262. Во всем дальнейшем изложении, стоя на почве такого геохимического выражения состава воды, я буду, когда на это есть научные данные, указывать и на ионы, и на гидратные комплексы, на мицеллы, газовые и жидкие молекулы, которые вероятны или несомненны в данной природной воде.

Но при классификации я этого касаться не буду и буду учитывать только атомный или весовой процент данного химического элемента и принимать во внимание для обозначения воды *преобладающие химические элементы*.

Число этих элементов очень невелико (§ 264). Можно по этому признаку выделить относительно немного различных природных вод, т.е. эти – немногие из многих – преобладающие в составе воды компоненты дают между

собой ограниченное число комбинаций. Преобладают компоненты, большей частью отвечающие распространенным химическим элементам, число которых тоже не очень велико.

Надо, однако, иметь в виду и всегда вносить мысленно поправку, что та относительная простота явления, которая этим путем вскрывается, может быть не отвечает всей природной воде, а присуща лишь верхним водам планеты.

Огромное большинство если не пресных вод, то соленых вод и рассолов нам не известно и не доходит до земной поверхности, не может существовать в нашем термодинамическом поле, в нем неустойчиво, а потому мы не можем его непосредственно исследовать.

О характере этих растворов можно заключить только на основании изучения минералов, образующихся из водных растворов в метаморфических оболочках.

Сейчас сделать это точно мы не можем. Однако несомненно, что состав этих растворов должен меняться очень значительно с глубиной, и очень возможно, что переход в магмы происходит постепенно.

Трудность точного определения состава солевой массы этих глубоких рассолов связана с тем, что мы можем изучать только продукты, минералы, выделенные из этих растворов. Они только отчасти выпадают прямо из растворов, частью образуются благодаря химическим реакциям между разными одновременно присутствующими в растворе компонентами; часть их связана с действием растворов на окружающие твердые вещества водовместилища. Далеко не всегда возможно точно разделить среди минералов тела такого разного происхождения и иметь понятие о составе раствора, из которого они выделены.

Нельзя не отметить, что для рассольных вод нет определения элементов, находящихся в небольших количествах, в сколько-нибудь значительном числе образцов вод, сравнимом с водами пресными и солеными.

263. Однако несомненно, так как это доказано опытами, что многие алюмосиликаты, например, полевые шпаты – $K_2Al_2Si_6O_{16}$ и др. – могут выпадать из горячих водных растворов (или золь) при значительном давлении; точно так же прямо из растворов выпадают многочисленные сернистые, мышьяковые, сурьмяные металлические тела.

В числе фреатических и ювенильных вод, достигающих земной поверхности, нам доступных, нет растворов, которые отвечали бы условиям выпадания этих тел.

В отвечающих им глубинных рассолах, температура которых превышает $150-300^\circ$ и которые переполнены газами, растворенными при давлениях сотен и тысяч атмосфер, и компоненты и газы должны быть иные, чем в доступных нашему непосредственному изучению природных рассолах.

Среди газов роль таких тел, как SiF_4 , HF, HCl, должна быть иногда преобладающей. Среди компонентов металлы, как Pb, Ag, Cu, Ni, Fe, Co, должны играть крупную роль, так же как As, Se, Sb, S и т.п. С другой стороны, должны встречаться соленые растворы или золи алюмосиликатов, феррисиликатов, борсиликатов и т.п.

Включение этих фреатических и ювенильных вод в классификацию есть дело будущего.

Несомненно, однако, что и сейчас возможно было бы в некоторых случаях точно установить состав этих своеобразных вод, если бы только подверглись анализу те своеобразные рассолы, которые местами встречаются (обычно в малых объемах) во время рудных разработок и в метаморфических и магматических породах.

К сожалению, этого почти нет. В частности, среди этих вод точно не установлены пока воды, из которых выделялись бы из раствора алюмосиликаты.

264. В доступных сейчас химически изученных водах, в многих десятках тысяч химических проб во всех местах биосферы и в прилежащих к ней участках земной коры наблюдаются *очень немногие химические компоненты для господствующих по весу* химических элементов.

Таковыми компонентами мы будем считать те, весовое количество которых будет не меньше 5% всего солевого остатка, обычно много больше. Господствующие химические элементы ясно определяются при принятом здесь выражении анализов; это первые элементы по порядку концентрации; они выявляются при рассмотрении чисел анализов скачком среди остальных; скачок наблюдается или в порядке, или в коэффициенте.

Такого рода элементами будут O, H, N, Zn, Ca, Fe, Na, Mg, Al, Cu, K, S, C, P, Si, Cl, B, Br, Mn, Mo – всего 20 элементов¹.

По отношению к ионам это будут следующие тела².

Катионы: $Zn^{1,3}$, $Ca^{1,2,3,4}$, $Fe^{1,2}$, $Na^{1,2,3,4}$, $Mg^{1,2,3,4}$, $H^{1,2,3,4}$, Al^2 , NH_4 , Cu^4 , K^4 , Mn.

Анионы: $SO_4^{1,2,3,4}$, HCO_3 (или CO_3)^{1,2,3,4}, $HS^{1,2}$, PO_4^1 , $SiO_3^{1,2}$, $Cl^{1,2,3,4}$, $NO_3^{2,1}$, $B_4O_7^{2,3}$, Br, MoO_4 , $HSiO_3^3$.

265. Есть правильности в распределении ионов и элементов в разных геосферах, очевидно, указывающие на очень основные проявления истории воды.

Для элементов характерно увеличение *кальция*, реже *магния* и уменьшения *натрия* в глубинных подземных водах.

Ион CO_3 увеличивается в стратисфере, но, по-видимому, начинает уменьшаться в более глубоких частях – в метаморфической оболочке.

Очень ясно и резко идет уменьшение с глубиной иона SO_4^{2-} . Это по-видимому, такой же поверхностный компонент вод, каким является газовый компонент O_2 в биосфере.

Ион SO_4^{2-} заменяется на глубинах ионами HS^{1-} . Это одно из самых характерных явлений в химической структуре земных вод.

Очень своеобразно отражается вертикальное распределение вод в истории азота, – здесь с глубиной начинает играть заметную роль ион NH_4^{1+} . История азота в природных водах дает ряд важных наведений с точки зрения глубинных изменений водных растворов.

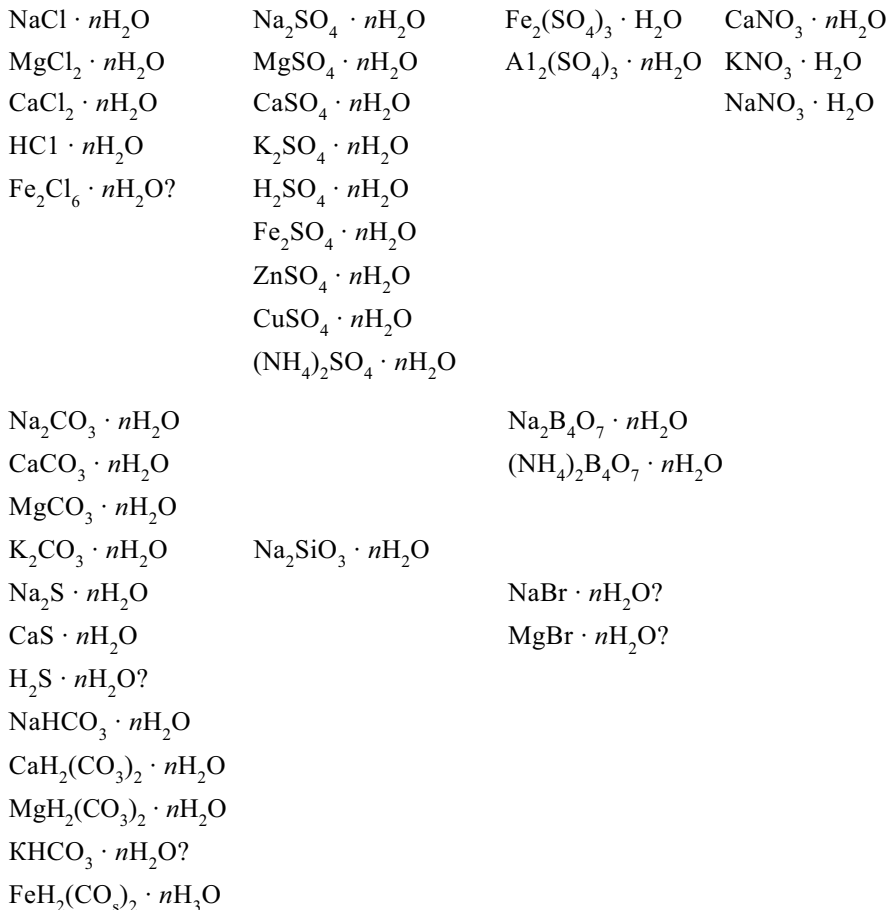
266. Несомненно, между указанными компонентами – ионами – возможны многочисленные сочетания, обуславливающие разнообразие природных вод. По-видимому, наиболее разнообразны по составу химических компонентов солоноватые – слабо соленые – воды.

¹ Следующие элементы, может быть, при дальнейшем исследовании присоединятся к данным: V, Cr, Co, Ni, As, Sr, Ba, J.

² Здесь обозначают: 1 – пресные воды, 2 – солоноватые, 3 – соленые, 4 – рассолы.

Однако число реально наблюдаемых сочетаний ничтожно по сравнению с математически возможными. Из допустимых квадрильонов едва ли существует 2000 и известно до 500.

267. По отношению к молекулярным (электрически инертным) комплексам это будут тоже немногие тела, которые можно выразить с большой вероятностью в следующих формулах:



Очень возможно, что эти комплексы соединены между собою уже в жидком состоянии. Мы знаем, что при испарении природных вод выделяются многочисленные двойные соли, господствующие из которых состоят из комбинаций указанных выше комплексов.

268. Точно так же очень мало разнообразно число *компонентов жидких* и число *мицелл* тех зелей, которые входят в состав природных растворов.

Для жидких компонентов мы имеем исключительно один класс – *органических соединений* так или иначе биохимического генезиса.

Для них является возможным, что они дают не растворы, а золи.

В природе эти тела играют очень большую роль. Кроме характерных, и для зелей органических компонентов – *мицеллами* являются иногда (в пресных водах) кремнезем и, может быть, гидраты окиси железа и алюминия.

269. Таким образом, ни жидкие компоненты, ни мицеллы не изменяют общей картины *однообразия* явления при возможности, казалось, чрезвычайно большого различия.

Из бесконечного количества возможных и известных в природных водах ионов господствующими являются всего 21 (возможно 29), причем некоторые из них очень редки. Едва ли дальнейшее более внимательное изучение много увеличит это число, едва ли его удвоит, например.

Точно так же из необозримого количества гидратов, которые могут давать нам эти катионы и анионы, мы имеем всего около 30 их типов в природных рассолах и соленых водах.

И всего два-три типа мицелл дают наблюдаемые золи.

Из возможных множеств их комбинаций едва ли встречается немного сотен.

Несколько соображений об энергетике природных водных растворов в земной коре

270. Из предыдущего совершенно ясно, что природные водные растворы не являются инертным телом в земной коре. Они являются в ней активными носителями огромной энергии и производят в ней огромную работу.

Вся земная кора проникнута энергией и работой. Она изучается прежде всего в геологии, и я в этой книге могу ее только коснуться.

Но есть одна сторона явления природных вод, которая теснейшим образом связана с энергетическим охватом земной коры, — это их *геохимия*. Она не затронута геологической мыслью и по существу входит в цикл минералогического изучения.

271. Как все вопросы динамической (или физической) геологии и деятельность воды не охвачена количественно, как единое явление и не выражена в одной мере. Очевидно, такой мерой может быть только та или иная мера энергии.

Энергетика земной коры — есть та проблема, которая стоит сейчас перед геологом. Для ее создания уже собран огромный эмпирический материал, он не сведен и не учтен, он разбросан. Ясно, что одна его сводка, когда она будет сделана, укажет пути, по которым должна пойти научная работа, для того чтобы опытом и наблюдением заполнить недостающие звенья.

Энергетика земной коры должна дать на фоне количественного учета разнообразных масс, которые составляют земную кору, и их физической и химической количественной характеристики картину численно выраженного распределения свойственной им энергии. Она должна научно выразить в энергетическом облике — в общем и в частности — движение этих масс, их равновесия — энергетический механизм земной коры.

В этом механизме огромное, первостепенное значение имеют водные растворы. Но мы не можем сейчас его выяснить, так как энергетический учет не охватил еще геологической мысли.

Огромная область относящихся сюда явлений находится в неразработанном виде и мало обращает на себя внимание исследователя.

Можно лишь наметить некоторые основные черты энергетического механизма, в который входят природные воды. Их точное количественное выражение — дело будущего.

272. В каждом природном растворе можно различить следующие проявления энергии, местом которых он является. Во-первых, надо учитывать *внутреннее энергетическое равновесие*, какое представляет сам раствор, состоящий из многочисленных компонентов, среди которых обращают на себя наше внимание – по своему значению – электрически заряженные ионы, гидратные комплексы, газовые молекулы, живые организмы, коллоидные мицеллы. Это область геохимии воды, поскольку мы изучаем миграции всех этих компонентов, передвижение их масс, их равновесие.

Во-вторых, надо отделять проявления растворов извне в окружающую среду: с одной стороны, испарение *растворов* – уход из раствора молекул воды, – поддерживающее их непрерывную связь с газовой атмосферой планеты, с другой – *выпадение твердых компонентов* – выкристаллизация растворов, химические взаимодействия, следствием которых она является, свертывание или образование сгустков, биохимические твердые выделения.

И наконец, надо отмечать охват и изменение раствором окружающей его среды – проникновение им атмосферы и повышение ее химической активности, *растворение и гидратацию* твердых тел водовместителищ.

Эти воздействия проявляются всюду. В биосфере ярко выступают в водных растворах тела, созданные жизнью. Жизнь вносит в своеобразной форме энергию сланца во всякий водный природный раствор. Она автономно нарушает устанавливающееся в нем физико-химическое равновесие, вызывая огромной важности новые явления. В энергетическом охвате она может быть сведена к той же единице – мере энергии, как и все другие свойства раствора.

273. Есть резкое различие в проявлении этих форм энергии. Внутренняя энергия раствора, поддерживая динамическое физико-химическое равновесие, которое он составляет, существует все время, меняясь в своей величине, пока существует раствор: она выявляется в энергетике геохимических миграций. Это – область частичных и химических сил воды и ее компонентов.

Энергия природных газов с ней теснейшим образом связана и от нее неотделима. Испарение водных масс – переход воды в газ – является наиболее яркой формой этой связи.

Замкнутые растворы, не сообщающиеся с окружающей газовой средой, являются исключением. Большие водовместителища, не сообщающиеся с газовой средой, неизвестны. Мелкие поры – часто микроскопические – в горных породах ничтожны по весу (несмотря на их распространенность в некоторых участках коры) в общей массе воды. Лишь для волосных растворов и для части подземных вод испарение сходит на нет под влиянием частичных сил. Выделение твердых компонентов происходит в природных растворах только в случаях достижения раствором определенной концентрации или же в биосфере при воздействии живущих в растворе организмов.

Если каким бы то ни было способом в данном растворе испарение его не уравновешивается притоком равного количества воды извне, то через определенное время неизбежно данный раствор перестанет существовать: часть его содержимого, главным образом воды, испарится, а его компоненты в новых комбинациях (с частью воды) дадут новые твердые минералы.

Вся энергия, свойственная данному раствору, может быть учтена, если мы можем количественно энергетически учесть пар и те твердые соединения, которые в результате былого существования раствора будут получены.

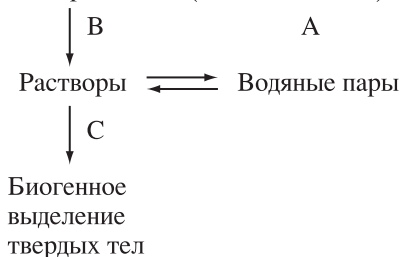
274. В связи с этим в окружающей нас природе можно различать *два состояния растворов*:

1) Растворы, которые находятся в длительном устойчивом динамическом равновесии. Испарение уравнивается непрерывным притоком воды или сгущением водяных паров. Твердые компоненты или совсем не выделяются или же выделяются биохимическим путем, постоянно воссоздаваясь в процессе водной жизни. Раствор существует благодаря непрерывному притоку поддерживающей его существование внешней энергии, или временами возобновляющей потерю от испарения, или непрерывно ее не допускающей.

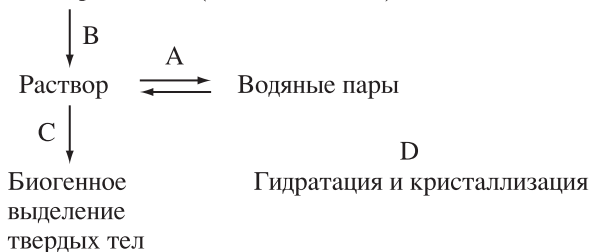
2) Растворы, которые находятся в стадии замирания, увеличения концентрации, усиления выделения твердых компонентов. При достижении определенных концентраций и жизнь в них замирает или ослабляется раньше их окончательного замирания. В известное, вероятно строго определенное в каждом частном случае время это замирание закончится, раствор перестанет существовать, вся его свободная энергия превратится в работу, а твердые компоненты дадут массы, обладающие только потенциальной – химической – энергией.

Обе эти формы состояния растворов могут быть выражены следующими схемами:

I. Твердые тела (источник ионов)



II. Твердые тела (источник ионов)



275. Первая форма – в разнообразном проявлении – может существовать неопределенно долгое время. Приток внешней энергии, поддерживающей равновесие, совершается в процессе А.

Среди таких равновесий наибольшее значение имеет Всемирный океан, захватывающий главную массу воды и существующий в готовом виде с начала доступной нашему изучению геологической летописи – с археозоя – непрерывно, до двух миллиардов лет.

Как мы видели (§ 26, 70), для ряда таких же меньших равновесий непрерывное существование установлено с меловой и третичной эпох.

При ослаблении или прекращении процесса А они переходят в форму вторую и заканчивают свое существование.

Для океана, по своей массе имеющего планетный характер, силой, поддерживающей равновесие, является энергия Солнца.

Равновесия – такие, как реки, озера, минеральные воды и т.п. – в ходе геологического времени переходят во вторую форму состояния растворов, в стадию замирания; исторически или геологически длительно они прекращаются как растворы, давая твердые соединения компонентов и испарением теряя воду.

Но исчезая в одном месте, такие же растворы создаются в другом, и в каждое данное время существуют в земной коре все те же их разности. Неясно, не является ли постоянным количество воды, ими удерживаемой.

276. В окружающей нас природе мы одновременно можем наблюдать самые разнообразные стадии зарождения и замирания растворов и в то же время длительные, представляющиеся нам прочными и стойкими – и возможно в течение тысячелетий и сотен тысячелетий такими действительно являющиеся, – первые формы состояния раствора.

И в то же время вся окружающая нас земная кора проникнута твердыми минералами, образовавшимися из бывших водных растворов – вод поверхностных, подземных, вадозных, фреатических.

Если с энергетической точки зрения первые формы (I) вод (§ 274) можно считать проявлением современной энергии – Солнца, подобно живому веществу, то прошлая энергия второй формы (II) вод может быть определена на основании той потенциальной энергии, которая получается в результате окончания процесса – тех соединений, которые в твердом виде выделены, и тех масс водяных паров, которые ушли при их образовании.

Мы имеем здесь законченные круговые процессы, в которых количественно в элементарном составе исходное и начальное твердое вещество одинаково, но комбинации химических элементов различные.

Изучение этих явлений с этой точки зрения есть дело будущего.

277. Основным источником энергии раствора, производящей работу в земной коре, является *химическая энергия*, проявляющаяся в термодинамических условиях земной среды в *работе*: в переходе огромного числа атомов соприкасающихся с водой веществ – их миграции – в водную среду и из водной среды.

Учитывая количество этих атомов, можно количественно охватить огромную геологическую работу, производимую природной водой. Пока можно дать ясное, хотя и неполное о ней представление, но необходимо достигнуть точного количественного выражения. Это – дело ближайшего будущего.

Для морской воды соляная масса составляет, по весу, исходя из данных Ф. Кларка и Д. Джоли, $4,6-5,1 \times 10^{22}$ г. Если бы концентрация водных растворов для всей земной коры была та же, то это число повысилось бы до $6,6-7,3 \cdot 10^{22}$ г. Но, вероятно, средняя концентрация вод земной коры много больше концентрации океанической воды. Хотя мы наблюдаем значительные количества пресной воды с концентрацией меньше 0,1%, но в общем в ней должны преобладать *рассолы*, может быть очень концентрированные. Рассолы, устойчивые в нашей термодинамической оболочке, достигают концентрации до 36–40%, более глубинные содержат, должно быть, еще больше

солевого остатка. Поэтому едва ли будет ошибочным признать, что природная вода земной коры (до глубины 20 км) *держит в растворе в каждый данный момент количества сторонних элементов* порядка близкого к $n \times 10^{23}$, может быть, $n \times 10^{24}$ г.

Хотя океан захватывает примерно половину (больше) всей воды земной коры, однако, судя по быстрому увеличению концентрации растворов с глубиной, *не в нем* будет находиться главная масса вещества, захваченного водными растворами в химической связи.

Учитывая вес земной коры – до 20 км – в $3,25 \cdot 10^{25}$ г, ясно, что *растворы составляют проценты – может быть десятки – по весу земной коры.*

Все эти элементы находятся в динамическом физико-химическом равновесии, в вечном движении в природной воде, постоянно в нее входят и из нее выходят.

В немногие сотни лет все вещество земной коры может пройти через ее водные растворы. Это не значит, что оно действительно целиком все переходит; но это значит, что в год-два проходят массы вещества, равные сотым (и может быть десятым) долям процента массы земной коры. С геологической точки зрения сотни лет – один миг геологического времени.

278. Нельзя при этом – с точки зрения энергетической – оставлять без внимания механические примеси, в частности мути. В биосфере ее количество превышает в текучих поверхностных водах во много раз солевой растворимый остаток. В геологически короткий промежуток времени так сносятся континенты.

Главным агентом является здесь работа рек, ручьев, метеорной воды.

Реки уносят ежегодно (по расчетам) в моря и озера в растворе $2,5 \cdot 10^6$ т вещества и $6,0 \cdot 10^6$ т в взвешенном состоянии. Но это последнее число не учитывает всей механической работы рек, так как принимается во внимание только мелкая взмученность.

Одна Миссисипи (по Гемфрею и Абботу, 1876) сносит ежегодно $3,7 \cdot 10^8$ т мути, Нил – по Шелю (1891) – $5,1 \cdot 10^7$ т и т.д.

Взмученные воды, по-видимому, есть явление характерное для биосферы – для входящей в нее суши и для прилегающих к ней морей, в прибрежных сгущениях жизни. Давление в стратиферу и глубже ограничивает разрыхление – тяжелые глубинные водные рассолы не являются благоприятным объектом для переноса мути. В общем их подвижность должна уменьшаться с глубиной.

279. В биосфере в процессе денудации, этим путем происходящей, называется та механическая сила текущих вод, кинетическая энергия, которая вызывается тяготением и метеорными осадками и выявляется на суше в движении рек, водопадов, ручьев, в элювиальных процессах, в движениях ледяных масс; на море – в морских течениях, в береговом прибое, в приливах и отливах. Солнечная энергия и тяготение являются первоисточниками этой энергии денудации.

Человек сейчас учитывает количественно небольшую ее часть, которая в условиях его общественной жизни может быть для него полезна.

Энергия белого угля – механической силы рек и водопадов, могущих быть использованными нашей культурой – исчисляется порядком $1 \cdot 10^{10}$ л. с. для всего мира (Ребок, Флюгель $8 \cdot 10^9$, Аррениус $7,5 \cdot 10^8$). Эти данные в 200 раз

меньше энергии каменных углей (Энглер, 1911), известной нам в их запасах. В калориях, по Аррениусу (1923), это будет всего $4 \cdot 10^{15}$ кал. Используется сейчас человеком не более $1,7 \cdot 10^7$ HP (Луи, 1925).

Много бóльшая энергия морской волны и морских приливов и отливов едва начинает учитываться. Едва начинает учитываться и исходная величина для белого угля – средняя высота массы дождя, падающей в год в данной местности, – «потенциальная сила воды» (Пенк, 1930), равная по его исчислениям $8,2 \cdot 10^{13}$ кгм/год для суши при сведении к уровню океана. Эта величина должна быть повышена, так как не принята во внимание средняя высота облаков над уровнем суши – она перейдет в порядок 10^{14} кгм/год, по крайней мере.

Энергия процесса денудации, взятая в целом, гораздо больше, так как она, помимо живой силы воды, так учитываемой, заключается и в химической денудации, т.е. в образовании водных растворов, в их переносе из континентов в океаны, в седиментации, т.е. в отложении мути растворов в морях (начало генезиса осадочных пород), в понижении на континентах уровня эрозии, т.е. в усилении механической работы текучих водных растворов и т.п.

Не считая мути, одна химическая денудация континентов исчисляется по Ф. Кларку (1924) уносом $2,73 \cdot 10^7$ т ежегодно растворенных частей суши в океан. Порядок процесса, вероятно, останется, но сильно увеличится коэффициент, а может быть достигнет масс порядка 10^{10} т, если учесть и механический снос континентов реками.

280. Огромное значение в энергетике земной коры имеют переносы водами тепловой энергии из глубоких слоев земной коры в стратисферу и в биосферу.

Уже на глубине меньше двух километров от земной поверхности – в пределах суши – средняя температура водных растворов близка к $50-70^\circ$. Она превышает 100° – т.е. точку кипения чистой воды на уровне океана – и близка к точке кипения соляных растворов уже на глубине около трех километров.

Постоянно и непрерывно в форме вулканических извержений, паров гейзеров, минеральных источников переносится в стратисферу, в биосферу, в конце концов в тропосферу теплая вода. В общем геологический эффект этого постоянно действующего явления численно не выражен.

Но он в течение геологического времени должен быть очень велик. Горячие водные растворы и пары воды постоянно несут в биосферу теплоту и механическую энергию внутренних геосфер. Горячие термы и горячие газовые – богатые водяными парами – струи постоянно вводят эту энергию в биосферу, и она тратится на химические и механические процессы, на явления жизни и на образование вадозных и фреатических минералов.

281. Должен быть учтен и обратный процесс – перенос холодных масс водных растворов и твердых – ледяных и снежных – их фаз.

Это процесс планетного характера, существующий уже в археозое.

Холодные массы водяных паров тропосферы – с высот до 9–15 км – спускаются непрерывно в область жизни, охлаждаясь частью при расширении газовых масс стратосферы и высокой атмосферы, создавая в конце концов столь обычный нам зимний ландшафт, околполярные и горные снежно-ледяные пустыни.

Холодная область стратосферы – наибольшее понижение температуры нашей планеты – создается в главной своей части свойствами водных паров, поглощающих наиболее сильные тепловые лучи Солнца. Пока мы можем здесь подозревать глубокий механизм в строении нашей планеты, еще только отгаданный, но научно лишь затронутый. Энергетическое его значение огромно.

Временами – периодически закономерно? – области охлаждения в ходе геологического времени увеличиваются в интенсивности, охватывают огромные части суши и морей, вызывая явления первостепенного значения в энергетике биосферы, – ледниковые периоды.

И сейчас в верхних и в нижних частях океана и многих морей массы ледяной воды покрывают планету: плавающие ледяные горы, постепенно растаивая, охлаждают поверхность океана. Внизу ближе к дну и на дне вода, близкая к замерзанию, участвует в передвижении холодных масс океанической воды к земной поверхности, выходя на нее в виде холодных морских течений; например, Гумбольдтово течение у берегов Южной Америки. Эти холодные воды в океане понижают в нем химические и биохимические процессы. Большая часть биосферы охвачена этим угнетающим влиянием, главные центры которого находятся около полярных стран, особенно в Антарктике – замерзшем континенте.

Океан представляет охлажденную массу воды, занимающую наибольшую поверхность планеты, мощностью, близкой в среднем к 3,8 км, охлажденную почти до температуры замерзания. По О. Крюммелю, средняя температура всей массы воды Тихого океана равна 3,7 °С, а температура массы воды всего океана колеблется в разных его частях от 3,5 до 4,5 °С, спускаясь в значительных участках и на больших глубинах ниже 0°. Это область планеты, где углекислота является устойчивой и в жидком состоянии.

Охлаждение передается океаном далеко в глубь планеты в лежащую под ним магмосферу.

Энергетически – числом и мерою – явление не охвачено, и созданный в ходе времени охладитель не учтен в своем значении и в своем генезисе.

282. Невольно мысль склоняется к тому, что этот своеобразный механизм охлаждения связан с диссимметрией земной коры (§ 74 и сл.), с созданием Всемирного океана.

Это – планетное явление, носящее характер земной оболочки, так как высокая атмосфера на высоте 80–100 км от земной поверхности нагрета до +30, +35 °С выше 0°.

Не меньше энергетическое значение перемен физического состояния воды в атмосфере. Здесь вода, переходя в пар, поглощает тепловую энергию солнца; сжимаясь в жидкость, она ее выделяет. Передвигаясь из холодных или теплых областей, она несет в новые места их тепловой режим. Каждая река и туча являются частью этого термического механизма, влияние которого прямое или косвенное (в значительной части через живое вещество) на все минералогические и геологические процессы огромно.

Всякий переход масс воды из одной физической фазы в другую, совершающийся или под влиянием повышения температуры, вызванного радиоактивным распадом химических элементов и может быть другими причинами, – есть факт первостепенной важности в энергетике земной коры.

Переход воды в лед и в снег и обратно обуславливает термодинамику биосферы в чрезвычайной степени.

Но в земной коре гораздо большее значение имеет переход: жидкая вода \rightleftharpoons водяной пар.

Огромное значение и в тепловой энергии природных растворов и в миграции их солевых частей имеет легко и непрерывно происходящий переход воды в газообразное и парообразное состояние – путем дистилляции, испарения – во всех термодинамических полях земной коры. Он является – благодаря распространенности – одним из основных элементов химического значения природных растворов.

Одна поверхностная вода суши и моря путем испарения дает $3-4 \cdot 10^{20}$ калорий в год (Аррениус, 1923), являясь одним из основных агентов динамики тамосферы.

283. Не меньшим, а может быть большим регулятором солнечной теплоты является грандиозное скопление – водный раствор гидросферы. Это связано с исключительными тепловыми свойствами воды, отличающими ее от всех жидкостей. Ее теплоемкость и теплопроводность резко иные, чем других жидкостей, и это отличие сохраняется для водных растворов,

Океаны задерживают огромное количество тепла при солнечном (днем) или летнем нагревании и медленно отдают его ночью и в холодные времена года. С этим связаны огромные изменения температуры и движений воздуха, так создаются основные черты климата. Это явление занимает очень важное место в механизме биосферы, в частности в термодинамике атмосферы.

284. Возвращаясь вновь к химическим проявлениям водных природных растворов при энергетическом их рассмотрении, следует подчеркнуть огромное значение биогенных выделений твердого вещества, постоянно и непрерывно в них идущие.

Даже в пресных водах, не говоря о соленых, непрерывно выпадают твердые соединения из растворов при условиях, при которых простыми физико-химическими процессами никакого выделения твердой фазы быть не должно. Из океанов непрерывно извлекается этим путем – в организмы, а при их замирании в их остатки – Ca, Mg, Si, Fe, Mn, P, C, H, N, O и в меньшем количестве другие элементы. Насколько этот процесс может быть мощным, показывает, например, геохимическая история кальция в океанах и морях. Организмы выделяют ежегодно в виде CaCO_3 , CaMgC_2O_6 , $\text{CaC}_2\text{H}_2\text{O}_4$, фосфатов кальция почти весь или весь кальций, который вносится в океаническую и в морскую воду в тот же промежуток времени реками (в растворе). Это массы порядка $5-7 \cdot 10^8$ т. Характерно, что Ca, Si, Fe играют в динамике морских и океанических вод такую роль, какой они не имеют в водах суши, где отлагаются на первом месте органогенные органические соединения C, H, O, N, на втором – карбонаты кальция.

Углеродистые соединения в больших скоплениях – каменные угли, нефти, битуминозные сланцы – связаны в своем происхождении с пресноводными бассейнами суши или с прибрежными морскими.

В море и в океане, в морских илах (грязях) органическое вещество так же мало накапливается, как оно не накапливается и в наземных почвах.

При образовании осадочных пород из грязей огромные количества его входят в состав стратисферы; эти количества, взятые в целом, больше угле-

родистых органогенных пород, но концентрации углерода в этих породах никогда не достигают его концентрации в углях, битумах или нефтях.

285. Наряду с таким биогенным выделением растворенных ионов и других компонентов раствора все природные растворы, особенно подвижные наземные воды суши, отлагают в ходе геологического времени огромные количества мути, коллоидов и механических осадков.

И в том и в другом случае создаются среди отлагающихся рыхлых масс, проникнутых водой, не только химическим, но и биохимическим путем – новые типы растворов (придонные и грязевые), с которыми мы встретимся позже.

Этим путем создается главная масса вещества осадочных пород, которые включаются в сушу при замировании благодаря тектоническим перемещениям участков морей.

Главная масса этих осадочных пород связана с *денудацией суши* – выпадает не из раствора, а из механической проникающей природный раствор, крупной или мелкой подвижной подмеси.

286. С энергетической точки зрения выделение твердого вещества кристаллизацией, связанное с замированием водоемов – из раствора, – имеет гораздо меньшее значение, чем это биогенное постоянное выделение минералов при существовании раствора, или выпадение в нем механически примешанных раздробленных твердых частей, несущихся силою подвижной воды.

Это бросается в глаза, если мы сравним осадочные породы прямо биогенного и осадочного происхождения с выделениями вещества растворов кристаллизацией.

В массе биосферы и особенно стратисферы эти продукты кристаллизации раствора составляют небольшой процент.

К сожалению, количественно сколько-нибудь точно учесть их мы пока еще не можем.

Общее же значение этих явлений в земной коре тем менее можно учесть, что они начинают преобладать и играть большую роль для подземных вод, для которых мы обычно знаем только состав продуктов кристаллизации, но не знаем химического состава раствора, давшего им начало, и физических условий среды, в которой шло и идет их выделение.

287. Химический состав и воды и выкристаллизовавшегося из нее твердого тела мы можем точно знать только для *поверхностных вод*. Здесь идет выделение *солей*. Можно различить два типа таких процессов – во-первых, замирание *морских растворов*, приводящее к выделению гипса – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – и главным образом NaCl , и затем (реже) в конечном процессе, сульфатов и хлоридов разного состава Mg , Na , K и Ca . Эти явления хорошо изучены с точки зрения физико-химических равновесий, но не обработаны с точки зрения термодинамической.

Другой тип процессов связан с окончательным замированием речных и озерных растворов. Здесь – особенно для озерных рассолов – наблюдаются разнообразные (частью изученные с точки зрения учения о равновесиях) галлоидные, сульфатные, карбонатные, борнокислые соли Na , Mg , Ca , K .

Все другие поверхностные воды дают солевые выделения в масштабе, несравнимом с указанным, давая сульфаты, карбонаты, нитраты тех же металлов.

288. Образовавшись на земной поверхности и вследствие позднейших тектонических процессов или благодаря седиментации очутившись в царстве подземных вод, все формы растворов наземных вод начинают быстро и резко изменяться, принаравливаясь к новым термодинамическим условиям окружающей среды, переходя в воды подземные.

Характер их водовместилищ меняется. С глубиной мы постепенно выходим из области биогенных миграций химических элементов (биосфера → стратисфера), вступаем в область, где капельножидкие воды начинают терять свое первенствующее значение. Начинают преобладать растворы пленчатых и волосных вод.

Наши знания о ходе процессов в этих водах и их конечной судьбе очень незначительны. Можно лишь в самых общих чертах отметить некоторые самые общие явления.

В истории этих вод – особенно в связи с одновременно происходящим увеличением давления и температуры – биогенные выделения вещества из растворов сходят на нет. Наряду с выделением твердых веществ благодаря кристаллизации, увеличивается уход воды из раствора в форме образования твердых гидратов. Ярko проявляется гидратация разного характера твердой среды водовместилища – первым делом водоносных пород, поры которых являются вместилищем растворов.

Глубже вступают на первое место процессы *цементации*, связанные с кристаллизацией продуктов химических реакций, происходящих между компонентами растворов.

289. Подземные воды по своему происхождению явно делятся на два типа: 1) Подземные воды, берущие начало сверху (I), первоисточником которых являются воды поверхностные, метеорные – воды биосферы. 2) Подземные воды, идущие снизу (II). Генезис этих вод различен. Часть их имеет тоже метеорное происхождение, пройдя долгую историю после того, как они покинули биосферу. Но возможно, что часть этих вод впервые доходит в область нашего обитания, в биосферу, из глубин земной коры. Сейчас наиболее глубокие из этих вод можно связать с магматическими очагами (§ 297 и сл.) и с водяными парами, с ними связанными.

Водяные пары подземных атмосфер должны иметь значение в этих процессах.

Обычно воды I и II смешаны в тех подземных водах, которые мы изучаем, причем воды II увеличиваются в массе по мере углубления в земную кору.

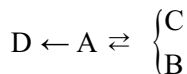
Практически воды с преобладанием I-го типа и II-го типа могут быть различаемы в большинстве случаев без больших затруднений, но едва ли когда мы имеем воды, вся масса которых генетически вполне не зависима от тропосферы.

Мы допускаем существование таких вод в глубинах земной коры, но возможно, что эта гипотеза не отвечает действительности.

Энергия, дающая начало первым водам (I), всецело связана с Солнцем и с тяготением; энергия вторых (II) в большей или меньшей степени связана с внутренней энергией земной коры или всей планеты, главной частью которой сейчас выявляется радиоактивная атомная энергия.

Сейчас можно выделить хотя бы с некоторой достоверностью только верхние части подземных вод.

Глубже идут бесчисленные *метаморфические* процессы, характер водных растворов которых очень неясен; для них равновесие (§ 274):



может быть пока восстановлено с значительно меньшей уверенностью, чем это можно сделать для металлических жил и пегматитовых образований.

Воды, проникающие все твердое вещество, все горные породы, – волосные – оставляются мною в стороне. Они совсем не изучены.

290. В таком случае два типа подземных вод распадутся на:

Тип I – подцарства почв и грязей (биосфера), пластовых вод (биосфера, главным образом стратисфера), воды подземных водоемов (главным образом биосфера), и т.п.

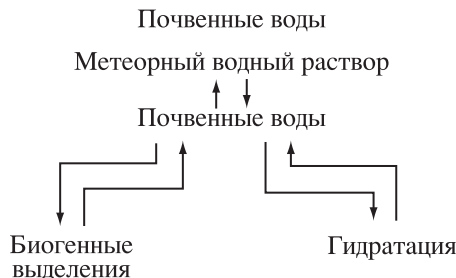
Тип II – минеральные источники (стратисфера, метаморфическая оболочка, вулканические воды (стратисфера-магмосфера), пегматитовые воды (то же) и т.д.

291. В подземных водах также можно различать обе формы их состояния: 1) длительных равновесий и 2) замирания (§ 274). Однако, в связи с состоянием наших знаний возможно реально их обе выделить только для вод, связанных с биосферой. Для вод чисто глубинных наши знания о длительных равновесиях чрезвычайно ограничены, а замирания недостаточно изучены.

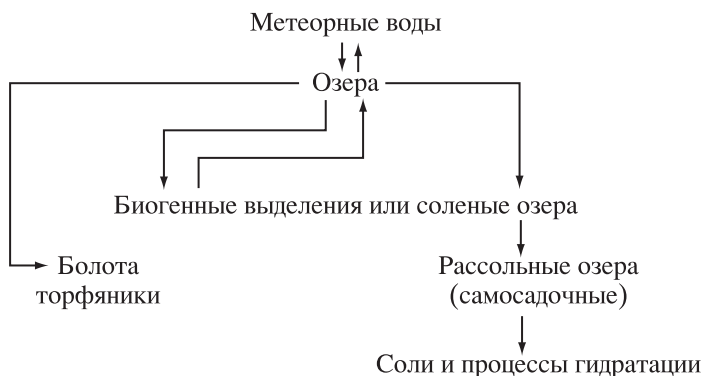
Для подземных вод биосферы и верхней стратисферы следующие схемы дают понятие о происходящих явлениях в связи с наземными водами биосферы:



3. Длительные равновесия подземных вод суши – тип I



4. Замирания поверхностных вод (стоячих)



Эти схемы могут служить указателями нормально и постоянно повторяющихся геологических процессов.

292. Для более глубоких подземных вод схемы таких процессов недостаточно фактически изучены и слишком много заключают гипотетических предположений.

Для вод второго типа (II) становится ясным, что для минеральных источников есть состояние длительных равновесий, так как достигающие биосферы минеральные воды имеют очень постоянный химический состав. Но мы их изучаем в стадии неизбежного резкого изменения, так как они идут из областей высокого давления, с другой температурой и с другим газовым режимом. Доходя до биосферы, они исчезают, и для использования человек должен их охранять. Они обычно смешаны с водами пластовыми и вадозными. Еще быстрее меняются воды вулканические. Восстанавливать их длительные равновесия пока почти невозможно.

Пегматитовые воды до биосферы не доходят. Наши знания о них еще надежнее.

293. Для всех этих вод нам лучше известны минералы, происшедшие из них в процессах замирания, чем состав воды во время их существования. При этих условиях энергетический подход может основываться в первую голову на *термохимии минералов* – область минералогии, совершенно не разработанная, хотя никаких особых препятствий к ее изучению нет. Не собраны и не измерены необходимые исходные теплоты образования большинства минералов. При таком состоянии наших знаний я ограничусь здесь краткими общими замечаниями.

Они все же нужны, так как фиксируют и ставят на очередь проблему.

Для *напорных пластовых вод* существует несколько типов продуктов замириания (D – § 274) – NaCl, CaSO₄ · 2H₂O, SiO₂, CaCO₃. Ни выделение гипса, ни выделение кремнезема или карбоната кальция не может быть с полной достоверностью отнесено к определенным видам анализированных растворов. Но в их существовании нельзя сомневаться. Процесс, который происходит, захватывает огромные области и правильно был назван Ван Хайзом как *процесс цементации*, характерный для стратисферы и верхней метаморфической оболочки.

Этот процесс связывает разрыхленные и распыленные процессами биосферы твердые тела.

294. Глубже, исходя из конечного замириания *глубинных подземных вод* – типа II, – получающийся состав растворов нам большей частью не ясен, но продукты его закономерны, и могут быть сведены к немногим подтипам.

Первый подтип связан с минеральными источниками – водными жилами, как удобно их называть. Но состав воды, до нас доходящей, этих водных жил дает пока только довольно отдаленное представление о ней в земных глубинах, где находится ее вместилище. Она доходит до нас измененная и может быть доходит из тех частей, где она находится в стадии замириания – из верхних частей водовместилища. Прочно связать с результатами замириания водных жил доходящие до нас их воды мы сейчас не можем. Разница, впрочем, не кажется большей, чем, например, гипсовые или магнезиальные тела, генетически связанные с морской водой. Подобно тому, как это наблюдается для поверхностных вод, надо было бы для понимания явления знать промежуточные стадии – концентрации, т.е. рассолы и донные и грязевые изменения. Их мы не знаем для минеральных источников. Вода минеральных источников аналогична морской воде, а минералы морской воды выделяются из ее концентратов и грязевых вод.

Остатками водных жил являются многочисленные отложения минеральных конкреционных жил, переполняющие некоторые участки земной коры (жилыные поля), твердые продукты которых мы можем изучать (I, § 100 сл.). Они образовались в нижних частях стратисферы и в метаморфической оболочке, до глубин в несколько километров от земной поверхности и тесно связаны с магматическими очагами.

Из водных горячих (гидротермальных) растворов здесь выделялись разнообразными минералы, состава SiO₂, CaCO₃, (CaMg)CO₃, FeCO₃, CaF₂, BaSO₄ и т.п., богатые сульфидами и сульфосолями Cu, Pb, As, Bi, Sb, Zn, Fe, Ni, Co, Ag и т.д. Они связаны с магматическими очагами.

Еще глубже, уже как переход в магмы, являются богатые SiO₂ и алюмосиликатами *пегматитовые выделения* (I, § 115), существующие под большими давлениями, при участии газов, летучих фумарольных частей магм, водяных паров и при температурах в пределах 150–700°. Летучие и легко растворимые части магм – соединения редких земель, урана, тория, тантала, циркония, титана, ниобия и т.п. здесь выделяются из пневматолитических водных растворов – водных магм.

Эти водные подземные растворы не охватывают всех подземных вод.

Остаются в стороне гидротермальные воды контактных образований «сухих трещин» (I, § 113), связанные с процессами метаморфизма, оставляемые

мною сейчас в стороне из-за недостатка точных данных о их химическом составе. Они являются горячими водами, богатыми углекислотой, резко меняющими стенки и дно водовместилищ, причем в созданных ими минералах главная часть элементов минералов происходит из образующих трещину пород. То же глубокое изменение (участие в происходящих процессах) окружающих воду пород есть общее явление для подземных, особенно глубоких горячих вод, выделить значение которого мы не умеем.

295. Невозможность тесно связать с современными растворами образуемые ими тела есть, конечно, в науке явление временное. Научная мысль овладеет поставленными проблемами. В общем и сейчас открывается перед нами совершенно правильно закономерно меняющаяся с глубиной картина замирания водных растворов.

Следующая таблица дает о ней понятие.

Замирание водных растворов

Стадия раствора	Стадия твердых продуктов замирания
1. Поверхностные воды (моря, озера, реки).	NaCl, сульфаты, карбонаты, галоиды Na, Ca, Mg, K.
2. Пластовые воды.	CaSO ₄ · H ₂ O, CaCO ₃ , SiO ₂ и т.п.
3. Минеральные источники (водяные жилы).	SiO ₂ , CaF ₂ , BaSO ₄ , CaCO ₃ , FeCO ₃ и т.п. Сульфиды, арсины, стибины, сульфосоли металлов.
4. Пегматитовые жилы (пневматолиз).	Алюмосиликаты, титанаты, танталаты и т.п. Ca, Fe, Mn, Na, Si, редких земель, U, Th и т.п.
5. Метаморфические, контактовые образования и сухие трещины (горячие водяные пары?).	Алюмосиликаты, силикаты.

Можно было бы учесть энергию непрерывно идущих – одновременно в разных глубинах земной коры – этих замираний водных растворов, если бы для каждого из них мы знали состав и массу воды, теплоту растворения и теплоту испарения, химический состав и термохимические постоянные выделенных при полном замирании раствора соединений.

Эти данные могут быть учтены, но их пока нет.

Термохимический учет образовавшихся соединений один не даст, однако, вполне точного представления, так как часть продуктов идет не из растворов, а из твердых стенок водовместилища. Особенно это сильно сказывается для вод сухих трещин (альпийский тип минералогенеза) (I, § 114).

Все эти пять групп процессов (вероятно, их больше; пятая группа, несомненно, сложная) в том же виде неуклонно существуют изначала нашей геологической летописи. Никакого изменения в их составе и числе мы не замечаем. Они, следовательно, – часть установившегося или исконного механизма земной коры.

296. Как указано, помимо выделения твердых соединений при полном замирании подземного раствора идет выделение отдельных его компонентов в самом растворе и при его концентрации благодаря химическим реакциям между раствором и окружающей, содержащей его твердой средой.

Это выделение должно учитываться при полном учете энергии процесса. Оно происходит в двоякого рода форме: во-первых, выделение в виде газообразных продуктов и, во-вторых, вхождение компонентов раствора в твердую окружающую, содержащую раствор среду.

Как пример не случайных, а неизменных в геологическом времени газообразных выделений в связи с подземными растворами можно отметить выделения CO_2 и H_2S . Например, CO_2 выделяется при понижении давления, когда растворы, богатые двууглекислыми солями, попадают в область более низкого давления, например, поднимающиеся из глубоких частей стратисферы в биосферу минеральные воды $-\text{O} - \text{Na} - \text{C}$ или $\text{O} - \text{Ca} - \text{C}$.

Сера всюду – и в поверхностных и в подземных водах – уходит из раствора в виде H_2S , частью биохимически, частью при более высокой температуре чисто химически благодаря восстановлению иона SO_4^{2-} . В связи с этим ион SO_4^{2-} исчезает в глубинных водах.

Ток газов, идущий вместе с подземными водами или из подземных вод, не может быть сейчас охвачен в сколько-нибудь достаточной мере, вследствие очень слабого нашего знания о режиме подземных газов. Благодаря легкой подвижности газов, этим путем выделяемых, они являются неучтенным пока количественно огромным источником энергии, переносящим тепловую энергию нижних геосфер в верхние, – в частности в биосферу.

Несколько замечаний о магмах

297. Надо остановиться еще на двух явлениях в истории природной воды, которые вероятно играют в ней очень видную роль, но значение которых не может быть сейчас достаточно точно выражено из-за недостатка установленных фактов и из-за малой разработки методики их исследования.

Это в некоторых случаях связанные между собою явления – образование магм с одной стороны, разложение и синтез воды – с другой.

В этих явлениях – подобно тому, что наблюдается для отношения живого вещества к воде, для ее коллоидальных проявлений и для ее растворов, – очень ярко сказывается диссимметрия истории природной воды: явления идут различно в гидросфере и на континентах.

298. Магмы можно рассматривать как *растворы воды* в силикатовой и алюмосиликатовой расплавленной переполненной газами массе, находящейся под давлением в земной коре.

Возможно, что некоторые такие магмы так переполнены сернистыми соединениями, что представляют растворы воды и сернистых металлов (как это допускает И. Фохт (I. Vogt) для Рио Тинто, например).

Сейчас считается наиболее вероятным, что магмы не представляют сплошной расплавленной оболочки, но распределены в виде больших или меньших расплавленных очагов среди твердой или вязкой коры. Твердое вещество преобладает в стратисфере, в метаморфической оболочке, в магматической оболочке, и в нем рассеяны магматические очаги, временами расплавленные массы огромной мощности.

Довольно трудно сейчас представить себе распространение магматических очагов во всей земной коре в какой-нибудь один и тот же момент времени.

Наши представления об этом в значительной мере являются неясными и спорными.

Однако некоторую точность можно им придать, если исходить из наблюдения и от известного постепенно переходить к неизвестному.

Невыясненной является основная проблема, не доходит ли до нас в биосферу лишь очень небольшое число магматических очагов через вулканические извержения и не застывает ли несравненно большее число их, не доходя до земной поверхности, нередко на большой глубине многих километров. Так некоторые думают.

Однако сколько могу судить, анализ фактов указывает, что количество этих очагов, не выходящих на земную поверхность, не увеличивается с глубиной и что их распределение в проекции на земную поверхность в данный момент времени теснейшим образом связано с распределением вулканов. Мы имеем определенные области земной коры, которые длительно служат местом выхода расплавленных магм, причем в течение геологического времени эти места – участки живых дислокаций – частью повторялись, частью перемещались в земной коре.

Вулканы – не поверхностное явление, корни их находятся в стратисфере и в метаморфической оболочке, океанические вулканы в магмосфере – базальтической оболочке. Они представляют из себя часть механизма верхних слоев земной коры, и магматические очаги, с ними связанные, но не выходящие в биосферу, являются частью того же механизма.

Этот механизм является единым целым и *как таковой всегда имеет выход в биосферу*.

Его изменение – нам заметное – происходит в теснейшей связи с изменением орогенической деятельности земной коры планеты, проявлением которой являются вулканы.

Усиления и перемещения вулканической деятельности наблюдались только в особые критические периоды в истории планеты, на которые несколько раз указывалось (§ 66 и сл.).

Карта (рис. 6) дает понятие о распределении этих выходов магм в настоящее время.

299. Мы сейчас наблюдаем стадию замирания магматических вод того разгара вулканической деятельности, который в третичную эпоху, в миоцене – десяток-другой миллионов лет назад – был в максимуме.

Сейчас во всей биосфере наблюдается примерно около 450 действовавших в историческое время вулканов. В сущности это число отвечает числу известных магматических очагов, ибо от одного очага могут выявляться многие вулканы; так, например, на Галопагосских островах известно около 2000 вулканов, многие из которых действовали в историческое время. Все эти вулканы сосредоточены вблизи океана – в полушарии Тихого океана их около 353, и они дали в историческое время 20 км³ лав и 315 км³ рыхлых продуктов; остальные – 97 вулканов в области Атлантического и Индийского дали 80 км³ лав и 16–17 км³ рыхлых продуктов.

Магматические очаги, им отвечающие, лежат относительно неглубоко, едва ли заходят далеко за пределы стратисферы (за исключением океанических вулканов – особенно в области Тихого океана).

Третичная эпоха еще жива для нас в этой части (и в значительной мере в истории воды вообще – например, для огромной части рек). Если даже, принимая во внимание замершие третичные вулканические области, число выходов увеличится, все же общая картина останется неизменной; на общем фоне суши эти ближайшие к биосфере магматические очаги теряются; ими определяются лишь узкие пояса на земной поверхности, за пределами которых магматических вод нет.

Идя глубже, встречаемся ли мы сейчас с расплавленными магмами – магматическими очагами, которые лежат вне связи с третичными дислокациями и с тектоническими процессами?

Застывшие далеко от земной поверхности плутонические породы третичного, скажем, возраста находились ли в связи с вулканическими проявлениями на земной поверхности или представляют независимые, не дошедшие до биосферы проявления новых очагов?

Возможно, что есть такие случаи, но в огромном большинстве приходится рассматривать молодые плутонические массивные горные породы, как глубинные части живых или недавно геологически живых вулканических областей.

Старые орогенические области древних дислокаций уже нацело прекратили свое существование, и в настоящее время надо думать, что распределение вулканических областей с середины третичного времени впредь до настоящей эры дает представление не только о магмах, подошедших к поверхности, но и об очагах, еще существующих в земных глубинах¹.

Если даже какие-нибудь из более древних – до третичных – дислокаций сохраняются в виде незакончивших свое существование магматических очагов, – это едва ли явление, сравнимое по мощности с тем, что дают сейчас третичные магмы, и едва ли при его допущении много изменится наше представление о малом объеме магм, одновременно существующих в разных горизонтах земной коры, которое вытекает из рассмотрения третично-современных вулканических проявлений.

Представления о вязких и расплавленных алюмосиликатовых и других магмах, областях «сима», и т.п. жидких и полужидких оболочках выходят за пределы эмпирического знания и имеют значение только как метод работы – как модель (например, в теории Вегенера) – еще не проверенный в своих следствиях.

Эти магматические – только допустимые – явления оставляются мной в стороне.

Область магматических очагов, с которой надо считаться в истории современных природных вод, ограничивается очагами третичными и современными.

300. В истории природных вод магмы и их передвижения из глубоких областей в биосферу имеют первостепенное значение. С ними связан генезис

¹ Вопрос о гранитах требует нового, более глубокого изучения. Очень интересные соображения в этом отношении выдвинул недавно М. Люжон (Lugeon, 1930), видящий в образовании гранитов проявление иной энергии – гравитационной, которой едва ли можно объяснить происхождение известных нам вулканических очагов. Гравитационная энергия резко проявляется в процессах геохимии.

множества разнообразных вод; связаны распадением и синтезом новых – «ювенильных» – молекул воды.

Движение вверх, в области меньшего давления, в биосферу магм – полужидких переполненных газами масс – связано в исходном итоге с тектоническими перемещениями твердых участков земной коры, обусловленных той самой причиной, которая вызывает образование магм; эта причина – неравномерное, неоднородное распределение и неоднородный рост нагревания в твердой литосфере. Местами температура подымается до точки плавления силикатовых пород.

Отходя все дальше и дальше от господствовавших в течение почти ста лет представлений об охлаждающейся расплавленной в догеологические периоды планете, мы подходим к более сложным представлениям о неоднородном нагревании и о неоднородном темпе его в разных местах твердых земных оболочек, связанными с неоднородным химическим составом планеты, с неравномерным, но закономерным распределением ее атомной энергии, с радиоактивными процессами.

От этой причины зависит, в конце концов, как образование расплавленных участков, так и тектонические перемещения.

Атомная энергия радиоактивных процессов существует, действует независимо от каких бы то ни было физических процессов планеты, все время дает активные проявления, переходя также независимо от окружающей среды в действенную форму, и по своей мощности достаточна для того, чтобы вызвать все орогенические и в том числе вулканические процессы.

Энергия гравитационная и энергия химическая, энергия частичных сил, приходящие в действие под влиянием неравномерного распространения температуры, являются в этом смысле вторичными, – хотя они главным образом определяют характер магм.

Движение магм является частью следствием развивающегося при этом бокового давления (гравитационной энергии), вызывающего их «выпячивание», частью следствием упругости переполняющих их газов, сложных процессов их движения, связанного с разной температурой и с разным давлением земной коры.

Это явление имеет, вероятно, еще большее значение, чем мы думаем, так как оно связано с существованием в стратосфере и в метаморфической оболочке подземных атмосфер, не принимаемых совсем во внимание и совсем не изученных. Газы магм должны быть с ними тесно связаны.

Они отличаются от тропосферы, хотя и связаны с ней, не только своим составом, но и своим движением, формой нахождения, температурой и давлением.

Как напорные подземные воды по всем этим признакам отличны от жидких наземных вод, так же отличны подземные газы, с которыми сталкиваются магмы, – их атмосферы – от тропосферы.

301. Эта неизученная область явлений, реально, однако, существующая, а не гипотетически допускаемая, обуславливает все явления движения и создания магм и связанных с ними фреатических и ювенильных вод.

Сейчас наши научные знания здесь очень ограничены.

Процесс обезвоживают магмы при переходе ее в массивную породу является основным в ее истории.

Этот процесс начинается при ее охлаждении (застывании) глубоко от земной поверхности и заканчивается для вулканических пород в биосфере.

Вулканические лавы уже в значительной мере потеряли воду магмы пока дошли до земной поверхности, но они приобрели и новую ювенильную воду: в них идет химический синтез воды (§ 317 и сл.) и захват вод стратисферы.

Получаются в конечном итоге все же породы, всегда содержащие воду (волосную) или тела, легко ее выделяющие при нагревании.

Части магм, застывающие далеко от земной поверхности, в глубинах земной коры, теряют может быть не меньшее количество воды в массивных породах – вулканических и плутонических: сохраняется в среднем 1,15% воды, химически связанной (Кларк и Вашингтон, 1923). Колебания для свежих пород достигают до 3–5% воды. Породы – гранитные – кислые – менее богаты водою, чем породы основные (граниты 0,78% H₂O, перидотиты – 1,80%). Недавние (1932) опыты Горансона указывают, что гранитные магмы до потери воды содержали ее до 8%.

Магмы различаются по количеству воды уже в своем первобытном состоянии, в очагах. И, вероятно, прав Фохт (1924), который считает, что магмы перидотитов были, например, более бедны водой, чем магмы амфиболовых перидотитов, часть воды которых могла дать начало биотитам и амфиболам.

По опытам наших лабораторий в условиях, далеких от природных, – расплавленная алюмосиликатовая масса может содержать до 13,5% растворенной воды. По-видимому, такое насыщение водою редко.

В среднем можно принять как общую картину расчеты Дзя (1924). Магма до перехода в массивную породу в среднем содержит 5–6% воды; в массивных породах остается приблизительно одна четверть и даже меньше.

Каждое вулканическое извержение является источником огромного количества фреатической и ювенильной воды, приносимой из глубин земной коры. Понятие о нем можно иметь, если взять максимальный случай. Лава Матавана в Самоа при удельном весе 2,6 занимает объем около 4,1 км³ – т.е. при 5% воды принесла сразу массы ее порядка 10¹⁴ т, а если учесть, что 5% есть не максимальное число, и что при изливании идет еще синтез воды под влиянием кислорода воздуха, то выделение в отдельных случаях одновременно масс воды в 10¹⁵ т не явится преувеличением.

При оценке содержания воды в магме необходимо иметь в виду, что магма есть место *синтеза воды*, и что в водно-силикато-алюминиевом растворе идет – в значительной мере под влиянием проникающих магму газов – синтез воды не только на земной поверхности, но и в магматических очагах (ср. § 330). Возможное ее разложение в магме едва ли уравнивает этот процесс.

Мы сейчас поэтому можем только очень гадательно определять процент воды в магмах. Несомненно он в верхних, более близких к биосфере частях должен исчисляться многими процентами. В некоторых случаях, например, при быстром застывании, при образовании стекловатых горных пород, процент сохраненной в породе воды превышает 10% (например, для некоторых пехштейнов).

В подводных извержениях вода может сохраняться в выходящих на дно морей магмах в большом количестве (может быть она частью захватывается из моря). Так в палагонитовых породах и в палагонитовых туфах Исландии количество воды доходит до 24,4% (Тиррель и Пикок, 1926).

302. Это выделение магматической воды играет большую роль в истории земной коры. Оно компенсирует то ее химическое связывание, которое неизменно происходит в биосфере. Но мы не должны терять из виду масштаб явления. Количество воды в магматической массе земной коры не может, по-видимому, достигать массы воды гидросферы.

Но огромная энергия, свойственная этой воде, и ее движение в земной коре, которое тоже является проявлением ее энергии, обуславливают чрезвычайно резкую и сильную ее реакцию в биосфере и особенно в метаморфической оболочке.

Именно она в значительной мере вызывает в ней и в стратифере процессы цементации.

303. Вода как минерал в магмах и в магмосфере в *жидком* состоянии быть не может.

Химически чистая вода имеет критическую температуру в $374,07 - 374,62^\circ$, а для ее растворов эта температура – к сожалению не определенная – должно быть не превышает 425° (И. Фохт).

304. Температура магмы чрезвычайно превышает критическую для воды, и потому в магме химически не связанная вода находится всегда в газообразном состоянии.

Если вода не будет химически связана с магмой, она должна выделяться из нее в виде газа. Выделение такого газа идет непрерывно.

При температуре в 1000° (и обыкновенном давлении) идет разложение воды на O_2 и H_2 . В областях высокого давления это разложение может не происходить при этой температуре, но свойства водяного пара при высокой температуре нам плохо известны.

Все же из изучения природных явлений ясно, что водяной газ входит, вне магмы, в теснейшее соприкосновение (может быть, своего рода растворы) с многочисленными газами и парами других соединений. Химические проявления этих тесных смесений выражаются в разнообразных многочисленных минералах, в частности в силикатах и в алюмосиликатах, получаемых во время газовых реакций *пневматолитическим* путем или воздействием на окружающую среду (минералы альпийского типа, I, § 114).

305. Значительная часть воды магмы находится в силикатовом и алюмосиликатовом растворе, образуя то, что мы называем собственно магмой.

Здесь проявляется своеобразное и резкое изменение химических свойств воды, на значение которого обратил внимание С. Аррениус (1900), но явление, им установленное, и идеи, с ним связанные, мало отразились пока на научной мысли и не подверглись дальнейшему углублению.

Я могу здесь их только коснуться; в химии силикатов и алюмосиликатов это явление играет основную роль и в ней должно быть основным образом охвачено.

Аррениус указал, что вода с повышением температуры меняет свои химические функции.

При температуре биосферы и стратиферы вода химически может быть рассматриваема как тело, обладающее свойствами то слабой кислоты, то слабого основания. При повышении температуры она является кислотой; при температуре около 300° (число получено экстраполяцией) вода и кремнекислота приблизительно одинаковые по силе кислоты, при 1000° вода уже в де-

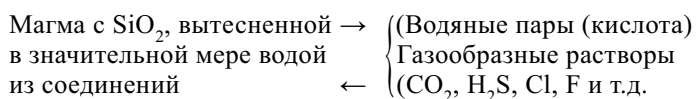
сятки раз сильнее SiO_2 и как сильная кислота должна вытеснять кремнезем из солевых соединений.

В магме мы встречаемся с водой с новыми свойствами, и все соединения, ее заключающие, выделившиеся из магмы при температурах, превышающих примерно 300° , должны отражать в своем строении эти необычные для нашего термодинамического поля ее свойства.

Нельзя не отметить, что магма не есть определенное однородное тело. В ней идут разнообразнейшие процессы дифференциации, и химические силы выступают на первое место. Разные магмы и части одной и той же магмы различны.

Так вместо сложной магматической системы, дающей при застывании горные породы, есть участки более простого состава, например, магмы $\text{H}_2\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, дающие при застывании кварц (некоторые кварцевые жилы) (Фогт, 1926).

Количество воды (газообразной) в магмах определяется, по-видимому, этими химическими свойствами. Мы имеем сложное равновесие:



306. Область магм ограничена, даже если отбросить из круга наших представлений слои земных глубин и ограничиться только пределами земной коры.

Несомненно везде под сушей мы при углублении встречаемся с постоянным повышением температуры, которое на глубине 10–30 км, при использовании экстраполяции из наблюдаемых температур (больше 2 км от земной поверхности), приведет к температурам выше 1000° , при которых алюмосиликатовые и силикатовые породы должны перейти в расплавленное состояние.

Таким образом, как будто бы – на этих глубинах – вместо магматических очагов в твердой геосфере должны были бы наблюдаться расплавленные магматические геосферы.

Однако, такое заключение не может быть принято. Уже не говоря об опасности экстраполяции в таком неясном явлении – этому противоречит анализ того единственного реального явления, которое мы должны неизбежно принимать во внимание при объяснении повышенной температуры. Все другие объяснения являются гипотезами и отпадают при наличии реально существующей причины.

Причина повышения температуры с углублением – прежде всего (если даже и существуют другие), – атомная энергия.

Количество урана, тория, калия, рубидия, радия и других радиоактивных элементов, в той или иной форме находящихся в массивных породах, а следовательно и в магмах, из которых они произошли, таково, что оно совершенно объясняет и наблюдаемое нагревание по мере углубления в земную кору и расплавление силикатовых и алюмосиликатовых пород. Однако количество этих элементов *быстро уменьшается с глубиной*, что заставляет думать, что высокая температура не только понижается от некоторого слоя в магмати-

ческой оболочке земной коры при движении к земной поверхности, но и при движении в глубь¹.

Где лежит слой максимальной температуры, мы не знаем.

Если количество радиоактивных элементов продолжает уменьшаться с глубиной – на что есть эмпирические указания, останавливаться на которых я здесь не могу, – то не только не может существовать жидкая геосфера, но и количество очагов магмы должно уменьшаться с глубиной, и температура их понижаться, причем давление продолжает увеличиваться. Вещество геосферы должно становиться более вязким и холодным, приближаясь по некоторым свойствам к стеклу или металлу.

307. На глубине около 60 км, когда давление приближается к 30 000 атм., исчезает различие между жидким, твердым и газообразным телом, вода, если она и существует, обладает свойствами, которых мы точно не знаем. Мы не можем дать о ней – о ее состоянии и свойствах – никакого научно ясного представления.

По отношению к механическим проявлениям (землетрясениям) до глубины более 1000 км от земной поверхности, вещество планеты представляется нам как бы твердым. Температура его может быть и высокая и низкая. Оба представления сейчас защищаются. Вопрос не решен, и неясно, идет ли вода в эти глубины. Но здесь мы имеем дело уже не с магмой. По-видимому, вода где-то в этой области сходит на нет – в гипотетическом металлическом ядре предполагают ее отсутствие.

308. Не совсем ясно распределение магматических масс в областях континентов и океанов.

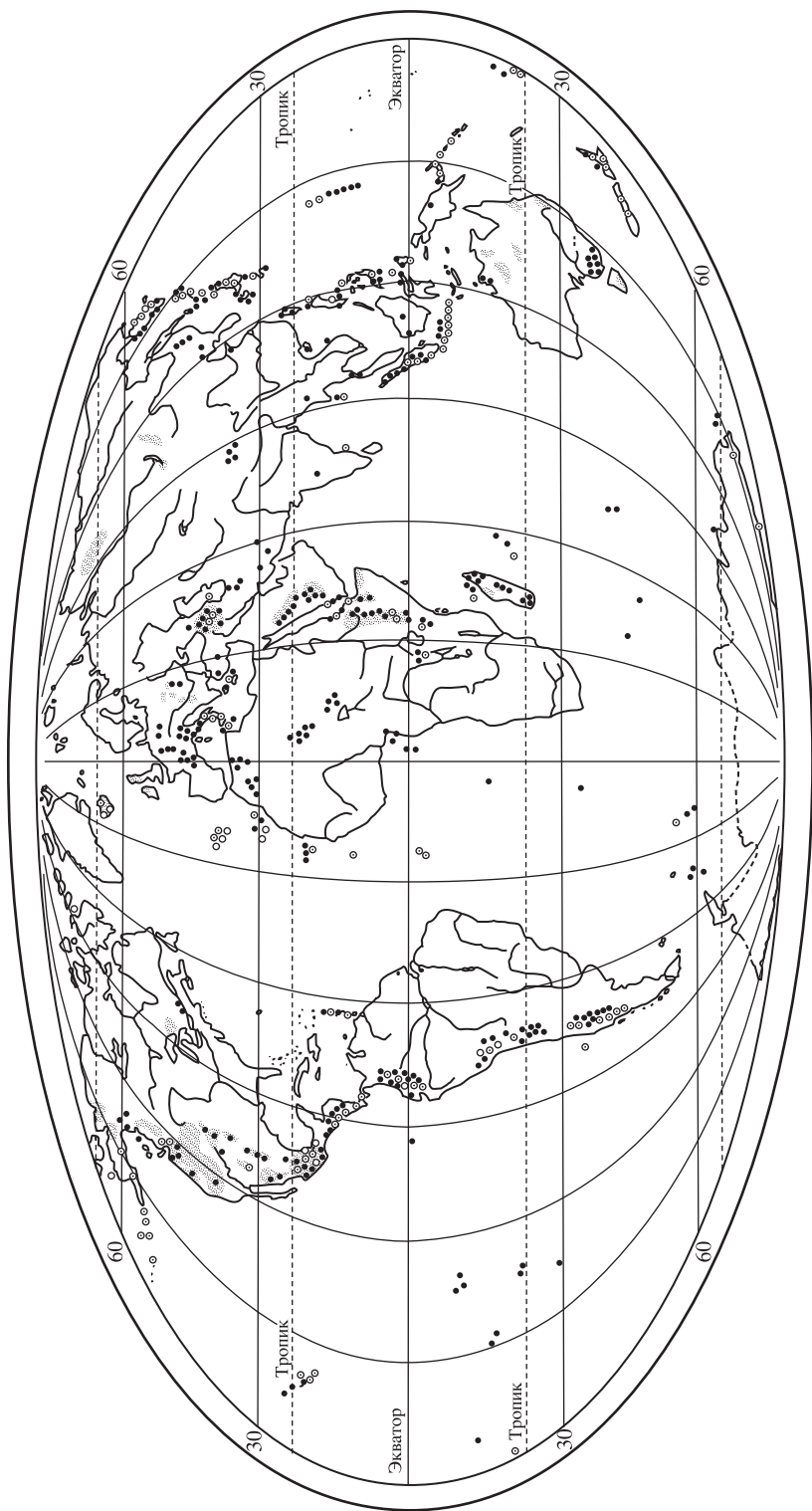
Как видно из карты (рис. 6), вулканические извержения не распределены равномерно по всей поверхности планеты, а сосредоточены в определенных поясах. Эти вулканы широко распространены, как для морских частей океана, так и для океанических, т.е. таких, под которыми строение земной коры иное. В Тихом океане все вулканические извержения дают основные породы.

Останавливаясь только на этих глубоких частях океана, отвечающих диссимметрии земной коры (§ 74 и сл.), необходимо заключить, что магматические очаги под ними иного состава, чем под сушей; – следовательно, целый ряд вод, связанных с магмами суши, будет – помимо всего прочего – под океанами (т.е. под гидросферой в собственном смысле этого слова) отсутствовать.

В них не могут наблюдаться напорные пластовые воды, минеральные источники, почти всегда связанные с кислыми породами и т.п.

В них могут встречаться только воды неизвестного нам состава, связанные с базальтовыми или с эцлогитовыми магмами неизвестного нам характера. Это часто не учитывается, и еще недавно (1929) один из крупных океанографов (Т. Туле) выдвинул значение гипотетических выходов терм и

¹ Повышение температуры, связанное с радиоактивным распадом, должно быть общим уделом всех химических элементов. Это неизбежная для нас при современном состоянии знаний рабочая, научная гипотеза, еще непроверенная. Мы встретимся еще с значением этого явления во второй половине книги (например, для гидросферы). Здесь же надо отметить, что измеряемая нами тепловая энергия радиоактивного распада является частью всей такой энергии, отвечающей наиболее интенсивным случаям распада. Химический состав вещества неизбежно всегда несет с собой тепловую свободную энергию, всегда влияет на свою температуру.



○ Вулканы, действовавшие в XIX в. ● Вулканы, действующие до XIX в. ■ Поля новых лав

Рис. 6. Распределение вулканов по Вегле и др. (Де Мартонн, 1926)

вулканических вод для объяснения состава и равновесия океанов. Исходные его положения являются не эмпирическим наблюдением, а, не основанной на фактах, гипотезой.

Оставляя в стороне прибрежные части и приконтинентальные моря, где эти явления могут наблюдаться, под главной толщей гидросферы должны иметь место другие явления.

На островах, например, Тихого океана возможны лишь метеорные, океанические, органогенные воды (лужи, грунтовые воды, воды мангровых и коралловых областей и т.п.) и вулканические воды *основной* магмы.

С этими основными вулканическими водами далеко не просто сравнивать воды таких же магм суши, так как на суше они прошли через толщу фреатических вод кислых магм и пластовых вод, отсутствующих для поднимающихся в биосферу магматических выделений океана.

Диссимметрия в истории вод выражена резко.

5. Изменение молекул воды в земной коре

Гидратация и дегидратация

309. Растворы не являются единственным химическим процессом, вызываемым в земной коре проникающими ее молекулами воды.

В растворах свойства этих молекул наименее изменены. Их распространение и их значение в земной коре являются следствием особого положения этой группы минералов в строении верхних частей планеты, о чем мы уже говорили.

Другие химические реакции, в которых принимает участие вода, не менее значительны, но их продукты уже выходят из нашего рассмотрения в этой книге. Они связаны с вхождением и выхождением молекул воды в минералы или из других минералов. Молекулы воды целиком входят в многочисленные природные тела – сторонние воде минералы, – а при их разрушении из них выделяются в неизменном состоянии.

Сейчас для кристаллических тел наши представления получают более конкретное выражение. Можно различить здесь (например, Натта, 1930) два разных случая: первый, когда есть определенные соотношения между водой и соединением, в которое она входит. Связь между атомами молекулы воды может сохраняться – она входит в кристаллическую сетку. Для неопределенных соединений молекулы воды занимают в кристаллической сетке пустые места, и связь между атомами H_2O может нарушаться. Если первые тела можно назвать *кристаллическими гидратами*, то вторые могут быть названы *растворами воды в твердых телах*.

Не останавливаясь на этом различии во всем дальнейшем изложении, я буду называть все соединения, в которые участвующая в реакции молекула воды входит целиком и выходит из них при распаде соединений, как бы без разложения, в прежней форме, – *гидратами* или гидратизированными соединениями, а самый процесс с этим связанный, *гидратацией и дегидратацией*.

310. Этот огромный по важности химический процесс миграции химических элементов в земной коре может быть поставлен наряду – по своему значению – с растворами и с процессом растворения.

Но он не охватывает всех химических реакций, в которых природная вода принимает участие.

За пределами гидратации есть ряд разнообразнейших химических реакций более глубокого характера, в которых принимает участие вода.

Здесь можно различить два резко различных типа химических процессов: 1) связанные с распадом молекулы воды и 2) связанные с новым образованием молекулы воды – ее синтезом в земной коре из водорода и кислорода – прямо из газов или в связи со сложными, принимающими участие в химическом процессе, водород – и кислородсодержащими соединениями.

Эти реакции синтеза и распада воды в земной коре играют огромную мало выясненную роль в ее истории.

Я рассмотрю эти явления отдельно.

311. *Явления гидратации и дегидратации* дают все переходы в чисто химические реакции синтеза, и в меньшей степени – разложения, воды.

Это сложная группа химических процессов, по большей части сосредоточенных в определенных участках земной коры, в зависимости от термодинамических условий, в которых они имеют место.

Гидратация наблюдается в огромном интервале температур. Она идет на земной поверхности при тех же термодинамических условиях, при каких идет растворение. Но она идет в гидротермальных процессах в стратиффере и в метаморфической оболочке при температурах, достигающих сотен градусов, и давлений не меньших. Наконец, она идет в магматических процессах при образовании алюмосиликатов и силикатов.

Очевидно, все эти различные проявления гидратации не могут отвечать одинаковым продуктам и химически различны.

312. Среди этих продуктов гидратации мы имеем, с одной стороны, такие образования, как соли с кристаллизационной водой (гидраты солей), гидраты в собственном смысле (кислоты и основания), растворы воды в силикатах и алюмосиликатах (например, в бронзитах), так, с другой, воду, переходящую в волосные воды (гигроскопическую воду минералов и горных пород), находящуюся в теснейшем контакте с твердым телом, ею облекаемым, и с капельножидкой водой (§ 11), почему она должна быть включена в рассмотрение природных водных растворов. Как указывалось, это не химически чистая «вода», а водный раствор, образовавший тончайшую губчатую сеть, проникающую и облекающую все твердое вещество земной коры, и легко переходящий в капельножидкое состояние.

Наряду с таким переходом в капельножидкий раствор, молекулы воды входят в те прочные соединения, в которых вода не уходит из данного тела в паробразном состоянии при температурах, равных многим сотням градусов, иногда выше 1000 °С. Это *конституционная вода* силикатов, алюмосиликатов, оксифосфатов и т.п. Это вода, которая, вероятно, входя в соединение, теряет связь между своими атомами (водорода и кислорода) в кристаллической сетке минерала, в который она входит; однако она всегда входит в минерал при его образовании и выходит из минерала при его разложении в виде молекул H_2O . Для таких минералов, например, для слюды, история атомов H_2 и O выражается схемой:



слюда

(свойства воды не выражены)

Все указывает, что внутри таких алюмо- и феррисиликатов молекула воды распалась, но это не заметно в природном процессе: выделяясь из соединения, все атомы опять образуют молекулу воды.

Очевидно, явления гидратации обнимают очень разнообразные явления, но в природных процессах земной коры эффект их одинаков, и поэтому они могут быть объединены вместе.

Очевидно, также, что и в природных процессах есть резкая разница между разными «гидратами». Она выражается в упругости паров воды гидратов: часть их находится – в различной степени – во взаимодействии с окружающей их газовой атмосферой, часть же – нет. На рассмотрении этого явления здесь я останавливаться не могу.

Важно отметить, что в одном из основных процессов разложения воды в биосфере, который приводит к созданию органических соединений живого вещества и к образованию гумуса, углеводов и т.п., главная масса молекул воды входит в круговорот того же рода. Входя в органические соединения, разлагаясь зелеными растениями, – она после «сгорания» в биохимических процессах вновь восстанавливается в прежнюю молекулу.

И здесь, как для слюды, существует схема:



органические соединения живого вещества.

313. Эти реакции, которые связаны с сохранением в круговых процессах молекул воды в верхних оболочках земной коры, могут здесь, по-видимому, нарушаться только энергией жизни. Ею, например, будет создаваться из этих молекул H_2S или CH_4 , в виде которых водород воды не будет возвращаться непосредственно в молекулу воды (§ 327).

В верхней области земной коры, нами изучаемой, аналогично жизни могут действовать – доводить разложение молекулы воды до конца – только такие силы, как радиоактивные и ультрафиолетовые излучения, глубоко разрывающие связь между атомами кислорода и водорода: всюду же кругом создаются химические соединения без разрыва связи между водородом и кислородом.

Важность этих реакций в земной коре видна уже потому, что для большинства минералов *вода* – как молекула – входит в их состав и является для них характерной составной частью. Это явление мы наблюдаем для 60–70% *всех* до сих пор наблюдаемых минералов¹.

314. В дальнейшем изложении истории природных вод мы всюду встретимся с процессами гидратации и дегидратации. Они ясно различно выражены в геосфере в вертикальном разрезе земной коры. Здесь я в нескольких словах укажу их главнейшие проявления:

В *биосфере гидратация* идет в чрезвычайной степени во *всех водных бассейнах*. Здесь огромная часть молекул воды входит в твердые соединения гря-

¹ Минералогические таблицы П. Грота и К. Милейтнера (1921) дают возможность получить *минимальную* цифру. Из приведенных в ней 2262 имен минералов для 1259 указано нахождение в их составе молекул воды. Но Милейтнер и Грот в целом ряде случаев ее реального нахождения на это не указывают (например, для роговых обманок, нефелинов, апатитов и т.п.).

зи дна и облекающих водовместилище горных пород. При этом биохимические процессы идут в том же направлении.

Даже в воздушной среде, в тропосфере, процессы гидратации – поглощения воды гигроскопической пылью – играют крупную роль в механизме круговорота воды.

Основным явлением химии почв и подпочв может считаться гидратация и дегидратация, теснейшим образом связанные с коллоидальными процессами. Здесь – особенно в подпочвах и подпочвенных водах – должно быть сосредоточено выветривание, основным проявлением которого является гидратация.

Во всех самосадочных озерах огромное количество гидратов солей закономерно выделяется и растворяется в зависимости от условий окружающей среды.

Во всех областях биосферы, проникнутых жизнью, идет тот же процесс гидратации; меняется только форма тех соединений, которые при этом создаются.

С отходом от земной поверхности, от биосферы, в области пластовых вод – верховодок и напорных – интенсивно идут аналогичные процессы, охватывая всю кору выветривания и проникая стратисферу. В стратисфере гидратация связана с пластовыми водами, с вызываемой ими цементацией и с метасоматическими процессами.

В результате для большинства химических элементов разные формы гидратных соединений являются устойчивыми и господствующими – для кремния и алюминия (опалы, глины, водные силикаты), для железа и алюминия (гидраты), для магния (водные силикаты, водные карбонаты, гидраты солей), для кальция (гидраты солей), для натрия (гидраты солей), для калия (водные алюмосиликаты) и т.п.

Вся биосфера и стратисфера дают, таким образом, две формы равновесия для молекул воды – *водные растворы и гидратные соединения*. Между ними идет постоянный обмен молекулами воды: гидратация в прикосновении с растворами идет частью путем гидролиза, частью более сложным путем, образуя все более и более богатые водой соединения. Явление еще более усложняется благодаря идущим как раз в этой области коллоидным процессам – тела переходят в богатые водой гели и студни.

При их постоянном изменении образуются при соприкосновении с растворами, в растворах или в среде, богатой осадками, все более и более богатые водой соединения, причем очень часто все эти процессы идут под влиянием жизни.

Образуются твердые соединения, заключающие до 50 и больше процентов воды по весу. Так, например, серпентины (до 13% воды), образовавшиеся в гидротермальной среде при относительно высокой температуре, например, во влажной среде на острове Кубе, подвергаясь выветриванию, дают богатые железом латериты, содержащие до 42% воды (Лейт и Мид, 1915).

Вся биосфера и стратисфера проникнуты такими продуктами гидратации, происходящими при процессах выветривания (I, § 55 сл.).

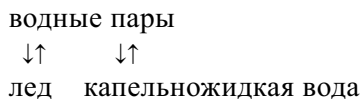
Иной тип представляют выделения богатых «кристаллизационной» водой солей, например, выделение гипса – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, озерных солей (астраханит, сода, глауберит и т.п.) или солей солонцов и выветривания

(сульфаты и карбонаты Na, Al, Fe, Mg и т.д.). И здесь количество воды достигает очень высокой степени, например, среди наиболее богатых ею – для соды ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) – 64,2% H_2O , мирабилита ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) – 56,9% H_2O , лангсфордита ($\text{MgO} \cdot \text{MgCO}_3 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$) – 57,4% H_2O и т.д.

При застывании в биосфере (особенно в гидросфере) вулканических пород удерживается этим путем огромное количество воды в виде алюмосиликатов и силикатов, например, в цеолитах. Для наиболее богатых водою процент ее достигает 24,1 в гидротомсоните, 17,8% в гейландите и т.п. В палагонитах подводных извержений около Исландии процент воды по весу достигает 24,7%.

315. Здесь же в биосфере и в стратисфере в особых условиях наблюдается *дегидратация* – потеря воды. В биосфере она наблюдается в областях, бедных жизнью, сухих, пустынных, причем нигде не достигает тех размеров, каких достигает в глубоких оболочках земной коры.

Этим путем химически связанная вода в твердых соединениях возвращается назад в основной круговой процесс:



Количественные соотношения между процессами гидратации и дегидратации пока не учтены.

Обычно эта дегидратация идет частично, т.е. более богатые водой соединения гидратного типа переходят в менее богатые ею соединения того же типа.

Такова дегидратация в морских и водных осадках при высыхании – временном или постоянном – водных бассейнов, при самосадке солей по мере концентрации, при рассеянии солей в солонцах на поверхности земли и в соленой пыли тропосферы. Здесь идет дегидратация – переход более богатых водою гидратов в более бедные.

Многообразные проявления этого процесса идут временами чрезвычайно медленно – в рамках геологического времени. Так, например, опалы ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) бедные водой с ходом времени в стратисфере переходят в халцедоны (SiO_2) сперва, а потом в кварцы. Уже в третичных слоях господствуют только халцедоны.

316. И в более глубоких слоях земной коры, наряду с процессами гидратации, мы встречаемся и с дегидратацией, которая, по-видимому, усиливается в более глубокой области «регионального» метаморфизма.

На глубинах, где температура сильно превышает точку кипения воды (учитывая давление), очевидно, не могут иметь места процессы гидратации обычного типа, так как упругость паров этому препятствует. Гидраты должны разлагаться.

Явление несомненно очень сложное.

Я не могу здесь вдаваться в эту область явлений, где к тому же наблюдение не дает еще вполне прочной опоры для суждений.

Важно лишь заметить, что по мере повышения температуры гидраты становятся менее устойчивыми и должны становиться все более бедными водой.

Дегидратация должна все более и более увеличиваться и давать начало парам воды, выделяющимся в вулканических извержениях, в гейзерах и в термах, питающих пластовые воды.

И действительно, по мере углубления ряд гидратных соединений исчезает и дает безводные тела. Так:

Опалы дают SiO_2
Глины « $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5$
Гидраты окиси железа « Fe_2O_3
Цеолиты – исчезают и т.д.

Эти процессы гидратации и дегидратации играют огромную роль в круговороте воды, в первичных геохимических круговых процессах.

Синтез и распадение молекулы воды в земной коре

317. Точно так же, как структура и история магматических масс, и процессы, связанные с новообразованием и разрушением молекул воды., могут быть сейчас охвачены лишь в самых общих чертах. Имеющиеся научные факты явно не дают ясного понятия о значении этих процессов в земной коре.

По-видимому, и синтез, и разложение молекул воды идут в земной коре в большом масштабе, происходят кругом нас на каждом шагу. Но они никогда не были сведены воедино и не были подвергнуты систематическому научному исследованию.

Тепловые эффекты этих реакций огромны, и в будущей энергетике земной коры их роль должна быть очень велика.

В конце XVIII столетия, когда вода была разложена на кислород и водород, это открытие произвело огромное впечатление, и были попытки связать этот процесс с основным газовым режимом земной коры, и в частности – с происхождением свободного кислорода. Его объясняли разложением молекул воды неизвестными еще процессами, идущими при высокой температуре. Их искали.

Но скоро эти искания замерли, так как открытие фотосинтеза у зеленых растений оказалось вполне достаточным для объяснения нахождения свободного кислорода.

Разложение молекул воды, так же как и их синтез, надолго исчезли из научного кругозора. Сейчас мы подходим к их научному изучению.

318. Среди бесчисленных природных продуктов, связанных с химическим взаимодействием между молекулами воды и окружающими телами, только часть может быть рассматриваема как проявление синтеза и распада ее молекул.

Такие соединения, как многочисленные природные соли с кристаллизационной водой, гидраты и т.п., которые получаются с поглощением молекул воды и распадаются с ее выделением в неизменном виде, должны быть исключены из наших суждений. Несомненно, эти соединения физически никаких свойств воды не проявляют, и атомы кислорода и водорода в лучшем случае могут в них сохранять то же положение, какое они занимали в молекулах воды, а могут эти положения не сохранять. Но, выделяя при разложении воду неизменной, они образуют в природе круговой процесс, который связан с сохранением количества молекул воды неизменным.

Он только что рассматривался нами как процесс гидратации и дегидратации.

Это относится и к процессам, чрезвычайно распространенным в природной химии алюмосиликатов и силикатов, заключающих так называемую конституционную воду, которая выделяется из соединений неизменно, как вода, при высоких температурах (выше 500 и даже 1000°).

Едва ли в этих соединениях атомы молекулы воды сохраняют такую связь, какую им надо приписывать в «молекулярных» соединениях, ранее указанных, ибо присутствие молекул воды в соединениях этого рода трудно устанавливается. Возможно, что это – соединения, где и SiO_2 , и Al_2O_3 , и H_2O играют роль кислот и кислотных ангидридов.

В истории природных вод эти тела играют ту же роль, как гидраты и соли в кристаллизационной воде. Количество молекул воды не меняется при образовании и обычном разложении соединения. Все эти тела могут дать круговой процесс (рис. 7).

319. Но наряду с такого рода химическими реакциями есть ряд других, в которых или молекула H_2O распадается на молекулы кислорода и водорода, или, входя в сложное соединение, водород и кислород воды при изменении или распадении образовавшегося соединения вновь не выделяются в виде воды. Произошло распадение молекулы воды.

Но есть и ее синтез.

Для последнего можно различать два генетически резко отличных случая природного процесса: или молекулы водорода и кислорода непосредственно соединяются и дают молекулы воды, раньше не существовавшие, или же молекулы воды впервые образуются при химических реакциях, происходящих между соединениями кислорода и водорода, воды не заключавшими.

И в том и в другом случае идет синтез молекулы воды в пределах земной коры.

Оба процесса – синтез и распад – происходят непрерывно и закономерно, и так как они идут в разных геосферах и очень многообразными способами, то надо думать, что эти реакции должны играть в земной коре очень заметную роль.

Оценить сейчас количественно значение обеих противоположных реакций синтеза и разложения мы пока не можем.

Преобладает ли в общем итоге синтез молекул воды в земной коре, или их распад, или же между обоими процессами установилось равновесие?

320. Уже при современном несистематическом изучении, когда материал подбирался случайно, мы знаем следующие, резко различные по вызывающей их причине явления разложения и синтеза воды:

1. В высокой атмосфере и в стратосфере: действие коротких ультрафиолетовых волн, идущих от Солнца, космических излучений и радиоактивных эманации. Реакции распада и синтеза здесь идущие, связаны с историей озона (I, § 245) и перекиси водорода.

2. В фреатической и ювенильной областях земной коры: сложные реакции, связанные с взаимодействием газов при высоком давлении и высокой температуре (в магматических очагах).

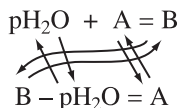


Рис. 7. Синтез и распадение молекул воды

3. В биосфере: фотохимические процессы в зеленых организмах, связанные с созданием сухой органической массы живого вещества.

4. В биосфере и в стратисфере: разложение молекул воды в растворах, заключающих радиоактивные элементы – радий и эманации.

5. Разнообразные биохимические реакции, связанные с явлениями метаболизма живых организмов и биохимического изменения их органической массы.

6. Сгорание органических веществ, в частности – сгорание живого вещества в биосфере.

7. С биогеохимическими явлениями не прямым, но прослеживаемым путем связано окисляющее действие свободного кислорода биосферы (синтез молекулы воды) в случаях, когда имеются налицо исключительные для биосферы концентрации энергии.

8. Взаимодействие вулканических паров в биосфере.

Несомненно, это далеко не все проявления идущего непрерывно синтеза и разложения молекул воды.

321. В 1892 г. Э. Зюсс возбудил внимание к постоянному притоку воды – *новой, «ювенильной»*, – которая раньше никогда не была в круговороте, т.е. в равновесии Галлея (§ 409) – на земной поверхности. Он предполагал, что в минеральных источниках и вулканах снизу из глубин *планеты* постоянно приходит такая девственная в биосфере вода.

Несомненно, как мы увидим, идет постоянно и непрерывно водяной пар из глубоких частей *земной* коры. Но значительная часть этого водяного пара уже раньше была на земной поверхности, принимала участие в равновесиях на земной поверхности и проникла в глубокие части литосферы *сверху*.

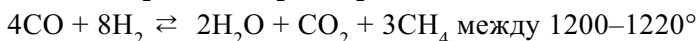
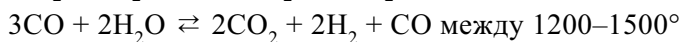
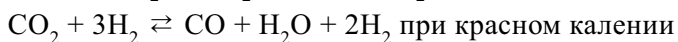
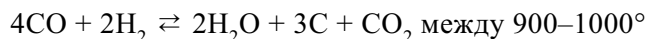
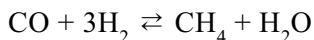
Мы не можем (пока) отделить эту часть от той воды, которая несомненно наново создается в глубоких частях земной коры. Часть водяных паров, идущих в биосферу снизу, действительно ювенильна в понимании Э. Зюсса: она впервые входит в равновесия воды в биосфере.

Но в представления Э. Зюсса, и сейчас имеющие многочисленных сторонников и влияющие на современное учение о минеральных водах, надо внести две поправки.

Во-первых, такая ювенильная вода идет из пределов земной коры – не из глубин планеты, а из верхней ее области, к которой принадлежит и биосфера.

И во-вторых, создание ювенильной – в смысле Э. Зюсса – воды идет в пределах всей земной коры, в том числе и в биосфере.

322. В глубоких частях земной коры – в стратисфере, в метаморфической и в магматической геосферах – должен идти непрерывно синтез воды при реакциях, связанных с взаимодействием горячих газов магматических очагов. Должен идти ее синтез и разрушение в реакциях типа:



и т.п.

Эти реакции являются функцией температуры (очевидно идут в глубоких участках земной коры) и давления.

Распадение молекул воды в этих областях (в той же форме равновесий?) должно идти и в случаях окисления металлических тел или закисных соединений железа.

И должны идти те же реакции (с выделением водорода), когда расплавляются силикатовые и алюмосиликатовые породы, заключающие в своем составе воду.

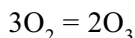
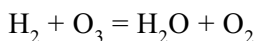
Учесть этот процесс количественно сейчас невозможно.

323. Очень возможно, что большое значение имеет разложение – фотохимическое – воды, идущее, по-видимому, непрерывно в стратосфере под влиянием радиоактивных, космических и ультрафиолетовых лучей Солнца.

Возможно, что в стратосфере и в верхней свободной атмосфере молекулы воды распадаются, давая свободный кислород (озон) и водород, частью соединяющийся с азотом. Если бы эта реакция подтвердилась и значение ее оказалось большим, история кислорода (и роль живого вещества в этой истории) потребовала бы значительных поправок (I, § 240). Эта область явлений требует сейчас большого внимания.

Сейчас имеются здесь не точные наблюдения природных явлений, а гипотетические построения, основанные на реально наблюдаемом действии радиоактивных и ультрафиолетовых излучений на воду и перекиси водорода и озона на водород.

Возможные процессы выражаются следующими формулами:

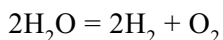


Возможно, что это все местные круговые процессы, находящиеся в равновесии, т.е. не отражающиеся на истории воды и кислорода на нашей планете.

324. В последнее время выдвигается новое явление, до сих пор недостаточно обращавшее на себя наше внимание.

Открытие вод, богатых радием, пластовых вод нефтяных месторождений, заключающих до 10^8 – $10^9\%$ Ra, заставляет считаться с возможностью распада молекул воды под влиянием радиоактивных элементов и выделяемой ими энергии.

Существование этого процесса – образование гремучего газа по уравнению



наряду с образованием перекиси водорода опытно констатировано для *радия* и для *радиевой эманации*. Очевидно, что то же самое должно существовать для эманации актиния и тория, для мезотория и для других продуктов распада ториевого и актиниевого ряда.

Не исключена возможность существования того же процесса и для других химических элементов, находящихся в распаде, в том числе и для ка-

лия. Нахождение водородных струй в месторождениях калиевых солей может быть на это указывает.

Эти явления в течение геологического времени должны играть большую роль, в частности в истории свободного кислорода, водорода, явлений жизни.

Для радия можно дать минимальные числа.

В год грамм радия дает *по крайней мере* 10,95 л (т.е. около 6 г) гремучего газа (5,9 г).

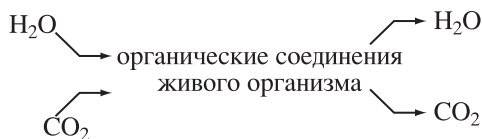
Общий эффект этого явления должен быть огромный.

325. Наиболее ясны сейчас *биохимические проявления*. Здесь вырисовывается грандиозная картина синтеза и разложения молекул воды, которая может быть оценена в ее геохимическом эффекте, ибо мы видим кругом себя продукты разложения молекул воды в виде свободного кислорода, нас окружающего, отложений нефти, каменного угля, гумуса наших почв и грязей, наконец в виде тех бесчисленных органических соединений, которые строят тела живых организмов. Это массы порядка многих 10^{20} – 10^{21} , может быть даже 10^{22} , находящиеся в вечном изменении и нас всюду окружающие. Вся биосфера и стратисфера ими проникнуты.

Правда, во всех этих реакциях, в основе их, идет разложение не только воды, но и углекислоты. Но участие разложения воды в них не только необходимо, но и очень значительно.

Впервые почти сто лет назад в 1830-х годах И. Буссенго – вопреки указаниям Берцелиуса – выдвинул наличие этого процесса наряду с разложением углекислоты и его огромный масштаб в живой природе. Еще до Буссенго это явление предполагалось в конце XVIII и в начале XIX столетия, но только ему первому удалось дать прочное основание его.

326. Обратный вопрос – *синтеза воды* – был выявлен раньше, еще в XVIII столетии, в теории дыхания и теплоты высших животных Лавуазье, который рассматривал их как проявления горения. Вода и углекислота получаются сгоранием – медленным окислением кислорода воздуха тех органических соединений, от разложения молекул которых они произошли. Существует равновесие:



Существуют сложные физиологические механизмы, отвечающие этому жизненному равновесию.

Представление Лавуазье в основе своей остается верным, хотя процесс идет более сложным путем, и аналогия с «горением» отдаленная.

Одновременно идет и другой процесс разложения воды бактериальными процессами, связанными с распадением нитратов, сульфатов и т.п. Эти процессы, давно замеченные, еще в конце XVIII и в первой половине XIX столетия (А. Гумбольдтом и Т. де Соссюром), – были выяснены лишь в последние 30–40 лет, когда открылся целый ряд бактериальных организмов, их производящих.

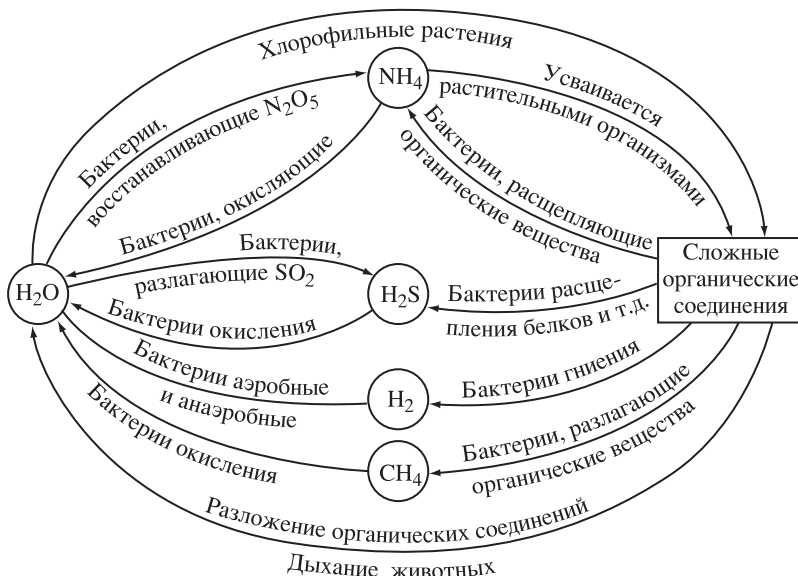


Рис. 8. Схема взаимодействия живого вещества и природных вод (по Я.Я. Никитинскому)

327. В общем, во всем его объеме по отношению к воде, биогенетический процесс был охвачен в 1909 г. Я.Я. Никитинским.

Схема его – с необходимыми поправками – прекрасно выражает все явление (рис. 8).

Едва ли можно сомневаться в том, что эта схема захватывает лишь основные черты биохимического синтеза и разложения воды. Некоторые явления несомненно в ней не захвачены, например синтез воды, идущий в известных условиях в животных организмах, например, в насекомых. Это процессы мало изученные и, по-видимому, не играющие роли при изучении явления в масштабе биосферы.

328. Эта схема дает только общие линии процесса. Она не отличает основного геохимического процесса, при этом происходящего, – выделения *свободного кислорода*.

Это выделение показывает, что круговой процесс, представленный схемой Я.Я. Никитинского, не вполне обратимый процесс, что часть вещества постоянно выходит из цикла и собирается в разнообразных органических соединениях в живом веществе и в свободном кислороде.

Количество свободного кислорода довольно точно известно и равно $2 \cdot 10^{21}$ г. Этому числу количественно точно отвечает количество углерода и связанного водорода, находящегося в конечных продуктах распада органического вещества – каменных углях, нефтях, гумусе, известняках и т.п. и в самом теле живых организмов (Вернадский, 1924). Ибо весь углерод и связанный водород этих природных образований взят жизненным процессом из CO_2 и H_2O , причем, впрочем, часть кислорода этих тел остается в органическом веществе живых организмов и в продуктах их разложения. Из двух молекул (воды и угольной кислоты) уходит на образование свободного кислорода не три атома кислорода, а меньше.

К сожалению, количественные, неизбежно существующие, соотношения между массами реагирующих тел:



нам неизвестны.

Точно так же неизвестно, сколько в создании этого одного из основных равновесий биосферы приходится на долю воды и сколько на долю углекислоты.

Дело будущего – выяснение числовых сюда относящихся соотношений.

329. В этом процессе ясно сказывается обычно ярко проявляющаяся в истории природной воды диссимметрия строения земной коры. Можно сейчас ее наметить только в общих чертах.

Все указанные в схеме процессы идут несомненно и в океанах и на суше. Но те твердые тела, в виде которых *углерод* выходит из реакции, в обоих случаях различны. В то самое время, как углерод в океанах выпадает в виде известняков, главным образом в виде CaCO_3 , углерод суши собирается в виде заключающих водород бедных или лишенных кислорода тел – углеводородов, каменных углей, битумов. Водород воды в продуктах этого процесса в океане, очевидно, в огромной части вновь возрождается (согласно схеме Никитинского), точно так же, как возрождается и углекислота. На суше водород, заключавшийся в воде, собирается в углях, нефтях, смолистых телах и, главным образом, в почве, в той тонкой органической, пыли проникающей в биосферу, о которой много раз была речь. Другая часть водорода разложившейся воды собирается в живом веществе суши.

В океане только в грязи дна собирается этот водород, главная же часть его «сгорает» в воду.

Это коренное различие (Вернадский, 1924) накладывает печать на всю биогенную миграцию атомов биосферы.

330. В биосфере существуют синтезы воды, связанные с живым веществом косвенным путем, через свободный кислород биосферы, всегда, по крайней мере в подавляющей своей массе, по происхождению биохимический.

Эти процессы, несомненно, имеют значение в механизме биосферы, но мало научно учитываются.

Таковыми местами синтеза воды являются прежде всего *вулканические извержения*.

При обычных в биосфере температуре и давлении кислород не окисляет водородистых соединений или водород с образованием воды, но в тех случаях, когда во время вулканических извержений в область биосферы выходят расплавленные лавы и раскаленные газы, идет синтез воды под влиянием кислорода воздуха. Идущие при этом реакции окисления поднимают температуру лав на несколько сот градусов. Окисляются с образованием воды H_2S , H_2 , CH_4 и другие углеводороды, всегда в огромных количествах выходящие во время вулканических извержений на земную поверхность. По-видимому, в огромных количествах вод, выбрасываемых во время вулканического извер-

жения, эта вновь образуемая новая вода имеет большое значение, составляет очень заметную часть ее общей массы.

Наряду с синтезом воды в вулканических процессах идет и ее разложение.

Оно вызывается, например, тем, что при взаимодействии при высокой температуре закисных соединений железа и паров воды – пары воды распадаются, а соединения закиси железа окисляются: выделяется *водород*. Это, например, резко сказывается и может быть измерено для роговых обманок при высокой температуре (Барнес, 1930).

Явление не охвачено систематически. Соотношение распада и синтеза воды точно в этих условиях не установлено, и необходимая поправка в только что указанное значение ювенильной воды в вулканические извержения не внесена.

331. В нашу психозойскую эпоху увеличиваются процессы синтеза и разложения молекул воды жизнедеятельностью человеческих обществ.

Среди этих процессов обращает на себя внимание тот синтез воды, который происходит благодаря *сжиганию*, человеком огромного количества органических тел – нефти, углей, дерева, травяной растительности.

Одновременно с молекулами H_2O органические вещества дают CO_2 , и мы сейчас знаем, что эта углекислота должна учитываться в природной массе этого тела как заметное, важное явление в биосфере.

Количество водяного пара в атмосфере в несколько десятков раз (раз в 30) больше массы углекислоты, и потому процесс такого синтеза воды должен иметь меньшее значение в тропосфере, но с ходом времени и он должен быть очень заметен.

Он сейчас уже во много раз превышает тот независимый от человека процесс, который происходил в постплиоцене до открытия человеком способа добычи огня: тогда только грозы вызывали в иных случаях сгорания выходов углей или пожары трав и лесов.

332. Можно здесь только отметить неизученный, но очень вероятный процесс синтеза и распада воды в пределах биосферы, связанный с действием озона, перекиси водорода и радиоактивного дыхания почв.

Для озона (I, § 245) главная часть процесса идет в стратосфере. Перекись водорода создается из воды и вновь в нее переходит, по-видимому, в пределах биосферы.

То немного, что мы об этом знаем, будет указано в другом месте.

6. Минералы группы воды

Принципы классификации минералов группы воды

333. Подобно тому, как мы это имеем для других групп минералов, и в группе воды нельзя основываться при установке ее минералов только на химическом составе относящихся сюда тел.

Общие принципы классификации (I, § 217 и сл.) здесь, конечно, выдерживаются: мы принимаем во внимание как химический состав и физическое состояние тел, так и те природные физические смеси, в которые входят химические соединения, сюда относящиеся. Но в этой группе чрезвычайно ясно сказывается необходимость новых диагностических признаков – неиз-

бежность, связанная с тем особым положением, какое занимает вода в нашей планете. Ее исключительное значение в установке геосфер (§ 39 и сл.), связанное с резким изменением состояния ее минералов в вертикальном разрезе планеты – и с диссимметрией земной коры, так ярко и таким основным образом отражающейся в истории природной воды – (§ 74 и сл.), выдвигает в этой группе минералов *геолого-географические* признаки на такое место, что их нельзя оставлять без внимания при классификации минералов этой группы. Они неизбежно будут здесь играть очень большую роль.

Эта роль еще увеличивается тем своеобразным, совершенно исключительным положением, какое имеют для морфологии природной воды *частичные силы*, проявление которых всецело зависит от положения воды в разрезе планеты – от ее близости к земной поверхности. Эти явления особенно резко проявляются в важной по массе и господствующей по числу минералов природной воде – в жидких ее фазах.

334. Сведем вкратце уже в первом охвате указанные деления (§ 207 и сл.). Первоначальное основное деление минералов группы может быть сделано на основании *физического состояния воды*. Значение этого признака бросается в глаза: ясно, например, что толщи льда и морская вода не могут быть рассматриваемы как один и тот же продукт природных химических реакций, т.е. как один и тот же минерал.

И для природной воды, как это имеет место для всех минералов, твердые жидкие и газообразные фазы одного и того же химического состава *будут разными ее минералами*.

Исходя из этих соображений, можно выделить первые крупные подразделения природных вод – *подгруппы*.

Таких *подгрупп* можно выделить три:

- 1) Газообразные воды (пары воды).
- 2) Жидкие воды (растворы).
- 3) Твердые воды (льды).

335. Дальнейшее деление можно делать различным образом, выдвигая на первое место или признаки физико-химические, или же физико-геологические, т.е. положение водных минералов в разрезе планеты. Как основное деление каждой подгруппы удобно принять деление на *классы*, связанное с *концентрацией* сторонних молекул воды тел, находящихся в растворах – жидких, газообразных, твердых. По существу это тот же классификационный признак, который мы применяли всюду в изоморфных смесях кристаллических минералов, но здесь раствор имеет другой характер (ср. I, § 182).

На основании концентрации природные воды – газообразные, твердые и жидкие – можно разбить на *три основных класса*:

Классы эти следующие:

1. Класс пресных вод.
2. Класс соленых вод.
3. Класс рассольных вод.

Каждая подгруппа делится на три класса.

Для определения концентрации вод обычно принимают во внимание только постоянные компоненты, не меняющиеся резко и непрерывно с изменением среды, с ее температурой, давлением, с газообразной средой. Только насыщенные растворы являются в этом отношении резко изменчивыми.

Но среди компонентов природных растворов есть компоненты газообразные, связь которых с окружающей средой огромна, и которые отражают эту среду чрезвычайно резко в свойствах самого раствора. Эти компоненты, на огромное значение которых указывалось (§ 218 и сл.), не приняты во внимание при исчислении концентрации.

Концентрация и характер газов позволяют разбить классы вод на более дробные деления – на *подклассы, ряды и подряды*.

336. Дальнейшее деление может идти на основании свойств планеты, физико-геологических признаков, характера водовместителей.

На этом основании выделяются *царства, подцарства и семейства*.

Царств можно различить три:

1. Царство поверхностных (наземных) вод.
2. Царство подземных вод.
3. Царство глубинных вод.

Все подгруппы и все классы разделяются на царства, и обратно. Подгруппа, класс и царство – равнозначные логически деления, из которых я условно беру за главное – подгруппы.

337. В царствах и в их подразделении выступают особенно ярко свойства планеты, а не свойства физико-химические, но те же свойства планеты по существу ярко обуславливают и классы и подгруппы.

Мы это видели уже в том основном делении, которое положено нами в основу первого большого разделения на подгруппы – физического состояния природных вод (§ 334). Жидкое, твердое, газообразное состояние природных вод тесно связано и с геологическим и с географическим местом вод в планете.

Точно так же с положением тела в планете связана, хотя и не всегда для нас ясным образом, и концентрация вод, на которой основаны классы.

Именно это обстоятельство – что свойства планеты, а не одни физико-химические явления вещества проявляются основным образом и в подгруппах, в классах и в царствах, – позволяет принять любое из этих подразделений для классификации природных вод как исходное.

Минералогия изучает свойства планеты и физико-химические свойства вещества только как проявление этих свойств.

Нахождение той или иной воды в разрезе планеты или географическое место ее нахождения на поверхности планеты может считаться основным и быть принято как основное исходное положение в классификации вод. Вместо подгрупп можно за исходное принять царства.

Автор этого не делает, только исходя из учета общей массы большого числа тех минералов, для которых физические состояния вещества играют основную, первостепенную роль (жидкое, газообразное, кристаллическое) – более основную, чем условия их нахождения.

Но первостепенное значение царств и подцарств сказывается во всей классификации природных вод – в значении более дробных подразделений подцарств, какими являются *семейства* природных вод. Семейства выявляются на основании формы нахождения природных вод в земной коре: семейства озерных, болотных, речных, пластовых вод, вод минеральных источников и т.п. Это все обыденные понятия, выработанные жизнью. Семейства делятся на *подсемейства и виды*, на основании химического характера компонентов,

но в этом химическом характере резко выражены как раз те физико-геологические (физико-географические) явления, которые вытекают из условий, определяющих подцарства.

338. Эти деления, резко выраженные для жидких вод, могут быть целиком перенесены на газообразные и твердые их подгруппы.

Твердая вода – лед – содержит «соли» и газы. Характер сторонних формуле H_2O компонентов в твердом льде может быть различен: с одной стороны, мы имеем здесь твердый раствор, с другой, волостные включения соленых растворов и более крупные, но закономерные, тонкие примеси, как, например, равномерно проникающей лед мути.

Так как этим путем создаются определенные разности льда с особыми условиями образования и особыми свойствами, можно различать и здесь, как в жидких водных растворах, классы льда – пресного, соленого, рассольного.

Точно так же всегда природный лед проникнут газами, причем можно различить два типа нахождения в нем газов. С одной стороны, надо допустить возможность *растворения* газов в твердом теле. Несомненно, с другой стороны, наблюдается проникновение льда бесчисленным количеством мельчайших пор и трещин, занятых газами. В глетчерном льде эти газовые включения находятся под давлением многих атмосфер (например, в гренландском льде на глубине 7,5 м давление по Коху около 10 атм.).

Так как состав газов в льде разного образования в разных семействах различен, вполне возможно и правильно и здесь отличать подклассы на основании газового состава льдов.

Возможность различения *семейств* на основании физико-географических или геологических условий образования и месторождений льда совершенно ясна, – например, речной, озерный, глетчерный льды явно и резко отличаются и по своей истории и по своим свойствам.

Не возбуждает никаких затруднений применение тех же принципов и к газовым разностям воды. Состав газов, примешанных к водяным парам, определяет их *подкласс*, а их количество – *класс*. Семейство точно определяется физико-географическими и геологическими признаками.

Таким образом, все три подгруппы воды – твердая, жидкая и газообразная – основываются в дальнейшей более дробной классификации на одних и тех же параметрах.

339. Если в этом делении параметры, отвечающие фазам (*подгруппы*) и химической концентрации, входящих в состав элементов (*классы*), – равно как и дальнейшее, более дробное, деление на *виды и подвиды* по преобладающим химическим элементам концентрации, – входят, в общем, в рамки обычной химической классификации минералов (хотя бы, например, и той группы самородных элементов, которая рассмотрена в первой части настоящей «Истории»), – этого отнюдь нельзя сказать про параметры, устанавливающие *подклассы с рядами и царства с семействами*.

Их выбор определяется особым положением воды в земной коре – проникновением ею больших и разнообразных масс всех геосфер и неизбежностью для нее различных, в разных условиях, равновесий, создающихся стихийно при простом соприкосновении ее со сторонними ей телами.

Четыре свойства природной воды – ее массовое нахождение во всех геосферах, неизбежность для нее захватывать газы путем растворения, учиты-

вая проникновение газами всей земной коры, способность ее *растворять* при соприкосновении в земных условиях огромное количество разнообразных природных тел и создавать (под влиянием частичных сил при тех же условиях) разнообразные коллоидные системы, резко отражающиеся на физической структуре водных растворов и соприкасающихся с ними сторонних тел – определяют для нее эти несколько особые принципы классификации. Ибо естественная классификация должна основываться на самых важных чертах истории и свойств природного тела; она не есть логически стройная отвлеченная система.

Нахождение и значение природной воды во всех геосферах (при резком изменении ее свойств в них) определяет необходимость включения в классификацию природной воды *геологических признаков*, а особое положение в термодинамическом поле биосферы (т.е. поверхности планеты) ее точек перехода теснейшим образом связывает минералогию воды с *географией планеты* и определяет то значение, какое географические признаки приобретают в ее классификации.

До известной степени те же вопросы стоят и при классификации природных газов (I, § 234). Но там явление проще, так как разнообразие природных вод несравнимо по численной своей величине с разнообразием природных газов.

340. Особенно резко выступает значение геологических и физико-географических явлений в классификации природных вод благодаря преобладанию среди них по весу жидких фаз и их разнообразию.

Это преобладание жидких форм природных вод возможно является не вполне реальным явлением; может быть, воды парообразные в действительности захватывают большую массу, с учетом всей земной коры до 60 км. Но в области нам доступной (сейчас для нашего знания) жидкая вода преобладает. Это видно и из рассмотрения известных нам видов природных вод.

Два свойства жидких масс отделяют их резко – как минералы – от минералов и масс твердой материи. Оба эти свойства находятся в причинной связи. Во-первых, быстрый темп изменений, какие представляет жидкое динамическое равновесие, по сравнению с равновесием тел твердых. И, во-вторых, малая четкость формы – внешней морфологии скоплений капельножидких природных растворов. Они принимают форму того вместилища, в каком находятся. В том же случае, когда в волосных проявлениях жидких систем морфология внешней формы проявляется более резко – для природных вод явление теснейшим образом связано с физико-географическими и геологическими условиями нахождения природных водных растворов.

Благодаря отсутствию четкой морфологии, связанной с внутренним строением тела, приобретают для жидких минералов огромное значение морфологические и геологические условия их нахождения, их генезиса.

Они получают это значение потому, что динамическое равновесие для жидкой системы останавливается чрезвычайно быстро: вода быстро приходит в статическое равновесие, приняв форму своего вместилища.

341. В твердых телах эти явления выражены менее резко, и в огромном большинстве случаев их внешняя морфология – особенно морфология их кристаллов – является первостепенного значения классификационным при-

знаком. Поэтому лишь очень медленно уяснилось представление о твердых минералах как физико-химических динамических равновесиях, находящихся в непрерывном изменении. Эти системы в подавляющем большинстве случаев обладают значительным сопротивлением по отношению к окружающей среде, они обладают значительной инерцией, и их изменение связано с огромным трением. Поэтому обычно оно выявляется только с ходом времени и нередко становится заметным только в масштабе геологического времени.

Но среди них есть образования, в которых геолого-географические условия, свойственные твердым минералам, выступают на первое место. Таковы, во-первых, подвижные образования – богатые водой, – изменяющиеся периодически в связи с изменением внешней среды – тела коллоидные, разных форм гели, характерные для биосферы, для почв, торфяников, сапропелей, железных шапок и т.п. В наших классификациях, в которых видное место занимает химический состав, тела эти распределяются в самые различные группы минералов – органические соединения, ферри- и алюмосиликаты, сернистые соединения и т.п.

Другой формой таких твердых минералов являются тела кристаллические, точки перехода которых из одной фазы (твердой, жидкой, газообразной) в другую лежат в термодинамических оболочках, минералогия которых нам известна, или лежат даже в пределах одной и той же оболочки.

К числу таких минералов относятся как раз минералы воды подгруппы твердых их фаз.

Для таких минералов явления физико-географического и геологического характера приобретают первостепенное значение, так как резко обуславливают их морфологическое строение.

Эти геолого-географические даты должны быть параметрами классификации таких твердых фаз не в меньшей степени, чем для слабо внешне морфологически индивидуализированных капельножидких и газообразных водных минералов.

342. Надо принимать во внимание еще одну особенность состава природных вод – преимущественно жидких, но также твердых и газообразных, – которая заставляет выдвигать физико-географические и геологические условия нахождения природных вод на видное место в их классификации.

Это – чрезвычайная зависимость компонентов, определяющих состав природных вод от этих условий. Так прежде всего газы, которые в водном растворе обладают своим парциальным давлением, находятся в материальной неразрывной связи с газами окружающей среды. Очевидно, и их состав и их количество определяется географическими и геологическими условиями местонахождения природных вод.

Но эти условия в неменьшей степени определяют и другие компоненты воды; только принимая их во внимание при классификации, мы вводим в классификацию такие, иногда важные компоненты, которые не попадают ни в понятие концентрации природных вод, устанавливающее класс, ни в понятие господствующих в воде химических элементов. Такие компоненты, как элементы в распаде, мути, микробы, водородные ионы – все находятся в теснейшей связи и с географическими и с геологическими условиями, и при определении по ним местонахождений природных вод могут и учитываться, предвидеться и правильно располагаться в основанной на них классификации.

Но помимо этих всегда важных условий, в настоящее время, когда и состав химический и физические свойства природных вод мало изучены, геологические и географические признаки приобретают совершенно исключительное значение. Без них научная классификация вод невозможна. Достаточно, например, вспомнить, что количественные и качественные данные о газовых компонентах большинства подземных вод отсутствуют. Однако географические и геологические условия, принятые во внимание как классификационные признаки, позволяют правильно в *общем* располагать эти мало изученные воды немедленно, ибо характер земных газов есть функция глубины от поверхности планеты.

343. Нельзя, наконец, при этом не учитывать и того, что этим путем в классификацию минералов стройно и логически правильно проникает явление, классификационное значение которого первостепенное и которое при более полном знании должно было бы определять естественную классификацию всякого минерала, – *оно* (а не концентрация или газовые компоненты) должно было бы определять подгруппы.

Я не ввожу его только потому, что эмпирический материал недостаточен для того, чтобы с пользой можно было его положить в основу классификации всех минералов.

Явление, которое я имею в виду, названо мной здесь *геологическими свойствами местонахождения воды*. Анализ этого понятия, даже самый поверхностный, сразу указывает на его коренное различие с географическим параметром классификации. Это два резко различные явления, которые должны были бы рассматриваться отдельно. *Геологический фактор классификации в сущности сводится к определению той геосферы, в которой данная вода находится.*

В практику жизни и в научный обиход это понятие было – для воды – введено Э. Зюссом (для минеральных источников).

Сейчас можно различить – с некоторой точностью (все меньшей по мере углубления) – воды разных глубин:

Воды биосферы	– <i>вадозные</i>	} <i>фреатические</i>
» стратисферы	– <i>осадочные</i>	
» метаморфической оболочки	– <i>метаморфические</i>	
» магмосферы	– <i>ювенильные</i>	

Это деление общее для всех минералов. Оно резко сказывается в понятии царств (и связанных с ними семейств), которое могло бы легко быть расширено и выражено в виде геосфер, если бы имелась возможность точно определять происхождение воды. К сожалению, это даже для царства подземных вод часто невозможно, а для глубинных едва намечено¹.

Так как значение всякой научной классификации всегда определяется удобством пользования, практическим удобством, – я не буду в классификацию вводить деление вод по геосферам, учитывая, что она проявляется

¹ Мы изучаем все воды в *биосфере*, поэтому все нижележащие воды всегда при выходе на поверхность смешиваются и всегда содержат большее или меньшее количество вадозных вод. Лишь в исключительных случаях удается получать чистые воды царств подземных и глубинных вод. Это резко сказывается и на газах.

в общем в царствах и семействах вод (всех их фаз). Однако всюду, где возможно, буду, употребляя данные здесь термины, указывать, к какой геосфере относится вода. Эти термины отвечают с большим уточнением понятиям, введенным для воды Зюссом (кроме вод стратисферы, которая им не различалась как таковая)¹.

Химическая классификация природных водных растворов

344. Дальнейшая, более дробная, но основная группировка минералов воды совершается по химическим признакам.

Но и для этой химической классификации благодаря особенностям природных растворов необходимо внести некоторые изменения в наши представления и оттенить некоторые понятия.

Те примеси, которые играют роль в природных растворах и придают им не встречающиеся в других случаях особенности, чрезвычайно разнородны. Как указано, можно отличить по крайней мере *пятнадцать* их типов (§ 203), характеризующих разные природные воды.

Далеко не все компоненты удобно брать как классификационные признаки. Два или, вернее, три из них взяты для отделения классов и подклассов; ионы и гидратные комплексы послужат основой дальнейших более дробных подразделений.

В основу их берутся (§ 264) твердые компоненты настоящих растворов химии.

Однако бывают случаи, когда мицеллы коллоидных растворов или сторонние тела мути приобретают такое значение, что могут отличать разности воды, таковы, например, кремнеземистые воды гейзеров, где на видное место выступает тончайшая взмученная коллоидная сера.

345. Огромное значение имеет реально вода, переполненная жизнью, главным образом, бактериями.

В точную научную классификацию обычно она не входит, но в житейской практике, в технике жизни, совершенно правильно отличают воды, богатые бактериальной жизнью от обычной воды, так как все химические и физиологические свойства таких природных вод резко отличны и своеобразны.

Особенно резко сказывается это влияние жизни в связи с тем изменением, которое вносит в структуру вод культурная жизнь человечества. Отсутствие или присутствие жизни, ее чрезвычайное развитие или, наоборот, чрезвычайное угнетение – должно учитываться при классификации этих измененных человеком вод, «загрязненных» вод, приобретающих все большее и большее значение в биосфере.

Этого рода компоненты должны учитываться и в неизменных человеком иловых водах водных бассейнов, в почвенных растворах.

Богатство (или бедность) микробной жизнью и теоретически не может быть параллелизовано с загрязнением воды механической мутью.

¹ Эти термины надо употреблять – при современном состоянии знаний – с большой осторожностью. Сейчас в научной литературе скопилось огромное число ошибочных определений: геосферу определяли геологи логически (и постоянно ошибались), а не эмпирически. Приходится сейчас очень осторожно относиться к геологическим определениям ювенильного и фреатического характера вод.

Вода, переполненная бактериальной или иной микрофлорой, резко отличается от мутей тем, что рассеянные в ней живые тельца являются центрами разнообразных новых химических изменений.

Среди этих изменений имеются такие важные, как изменение или создание газов; поэтому и для вод сероводородных, например, необходимо отличать воды с биогенным сероводородом, т.е. воды с определенной микрофлорой, от других сероводородных вод.

Конечно, таким диагностическим признаком может являться только жизнь, идущая в поле молекулярных сил, которая входит в число компонентов природных растворов (§ 203).

Если бы требовалась более тонкая классификация вод, то значение живого населения выступило бы еще с большей рельефностью, как это имеет место для гигиенической и физико-географической классификации пресных вод, где имеет значение фауна и флора не только микроскопических организмов, но и крупных. Известно, как тонко жизнь отзывается на химизм воды. Гидробиологи указали, что в изучении флоры и фауны живых организмов гравитационного поля мы имеем более чувствительный реактив на состав вод, чем те, которые употребляют точнейшие экспериментаторы в физико-химических лабораториях. Изучение жизни вскрывает более глубокие проявления мира, чем самые точнейшие методы физики и химии.

В классификации природных вод надо временами для определенных целей пользоваться биологическим их анализом и учитывать результаты этой работы. Но это признаки для более дробных делений, чем *виды* природных вод.

То, что явления водной жизни не входят обычно в характеристику природных вод, рассматриваемых как минерал или изучаемых с точки зрения их химического состава, основано не на каких-нибудь объективных основаниях, а на привычке и научной рутине.

346. Следует еще подчеркнуть своеобразие в структуре воды тех компонентов природных жидких растворов, которыми мы пользуемся для их классификации.

По нашим современным представлениям часть этих компонентов так или иначе проникает или тесно связывается с молекулами воды, тогда как другая располагается между молекулами и их прямо не изменяет.

Можно следовательно различить два типа компонентов (§ 203).

I. *Располагающиеся между молекулами воды, их прямо не изменяющие:* живое вещество, мицеллы, муть, газообразные компоненты.

II. *Тесно связанные или проникающие молекулы воды:* твердые химические компоненты (ионы и комплексы), жидкие химические компоненты, рассеянные элементы.

Для классификации природных вод имеют значение компоненты обоих типов.

347. Итак, подгруппы (§ 334), в том числе – *природные растворы*, делятся по компонентам II типа (концентрация ионов и молекул) на 3 *класса*; каждый из этих классов делится на *подклассы* по компонентам I типа (газы). Подклассы, входя в *царства* и *подцарства*, делятся на *семейства* – вне химических компонентов.

Семейства делятся на *виды* вновь на основании компонентов одновременно и I и II типов, – так как в основу будут положены *химические элементы*, находящиеся в воде, открываемые при анализе, – причем безразлично, входят ли эти элементы в живое вещество, в мицеллы, в газы, в твердые и в жидкие компоненты или отвечают свободным рассеянными атомам.

Вид будет определяться преобладающими в природной воде атомами, за исключением атомов водорода и кислорода, в порядке их распространенности.

Подвиды или разновидности могут быть выделены по отдельным менее распространенным элементам, если их концентрация в данной воде сильно выходит за пределы обычных для данного элемента величин (например, для Ra, As, Li и т.п.). Можно пользоваться с этой целью и другими явлениями, например, количеством бактериальной жизни, большим количеством органических золь и т.п.

Я буду останавливаться главным образом на видах, указывая в отдельных случаях на возможные разновидности.

Практически можно пользоваться солевым остатком, получаемым при выпаривании, как для определения класса, так и при его дальнейшем анализе для определения вида, внося в элементарный анализ поправки: первую – *на кислород*, согласно составу ионов (§ 264) или солей гидратных комплексов (§ 267); другую поправку надо делать на растворенные газы, беря числа из газового анализа воды в весовых процентах.

Последняя поправка прибавляется к солевому остатку, полученному из анализа, в некоторых случаях значительно его увеличивая. Минимальный солевой осадок порядка $10^{-6}\%$ вырастает неизбежно до чисел порядка $10^{-3}\%$.

348. Виды природных растворов, так определенные и выраженные, в пределах наблюдаемых колебаний количественных весовых процентов химических элементов обычно дают тела, довольно резко отличающиеся друг от друга.

Но при большой подвижности в земной коре разные воды, наблюдаемые иногда в чистом виде, дают и *воды смешанные*. Границы между химическим составом видов природных растворов этим путем могут сглаживаться. Но все же в огромном большинстве случаев нет надобности менять принцип классификации. Надо принимать существование переходов как реальное природное явление, могущее существовать для определенных видов природных вод и требующее научного изучения.

Как во всех природных процессах здесь нет случайности. Это – закономерное явление, и в отдельных случаях мы должны рассматривать *такие природные смеси как отдельные минералы*. Таковы, например, речные воды. Речная вода образуется благодаря закономерному смешению и дальнейшей переработке вод метеорных, почвенных, вод луж и взрхозодок. Можно отличать два типа речной воды: 1) с преобладанием компонентов Na–Cl–SO₄ и 2) компонентов Na–Ca–CO₃. Различие обусловлено интенсивностью биохимических процессов, определяющими речную воду, водами почвенными и поверхностными.

В чистом виде эти воды встречаются в небольших реках или в некоторые времена года на отдельных участках большой реки, но обычно в истории каждой реки, особенно большой, состав ее отвечает смеси пресных раство-

ров этого различного характера компонентов – часто с преобладанием одной какой-нибудь воды (§ 614).

Природные смеси вообще являются чрезвычайно распространенными в биосфере, среди вадозных вод, и, очевидно, согласно общим принципам классификации минералов (§ 217 и сл.), должны быть выделены в отдельные минералы, как мы выделяем в отдельные минералы многие твердые изоморфные смеси (например, среди полевых шпатов – олигоклаз, андезин и т.п., среди ромбических пироксенов – бронзит, энстатит и т.п.).

Подобно тому, как это наблюдается и для твердых минералов, – нет возможности дать для этого общие правила, и надо решать каждый раз задачу оценки данного раствора отдельно.

Закономерные смешения являются обычно среди вод одной геосферы (например, в пределах биосферы).

Вопрос усложняется при смешении разных вод, например, вод поверхностных и вод минеральных источников или пластовых. Здесь эти смешения могут быть рассматриваемы как механические смеси разных минералов.

Имея дело с подвижным равновесием легко перемещающихся масс и учитывая геолого-географические условия как классификационный признак, очевидно, минералог должен интересоваться конечным устойчивым продуктом, а не быстро преходящими промежуточными стадиями.

Прекрасным примером служит океаническая вода, резко отличная от всех вод планеты, хотя в нее непрерывно вливаются воды разного химического состава и разных классов.

349. Аналогия с твердыми минералами может быть проведена глубже.

Среди природных вод есть случаи закономерных физических смесей, которые необходимо учитывать как отдельные минералы.

Сюда должны быть сейчас же выделены некоторые из дисперсных систем, значительная часть которых – обычные гели и золи – отнесена в данной классификации к водным растворам.

Тела этого типа мало изучены и мало обращают на себя внимание.

В таблицу вод помещены некоторые из них, какие сейчас возможно выделить. Несомненно, в ближайшее время в эту область придется внести значительные изменения.

Несколько соображений и указаний надо сделать и сейчас.

350. Для твердых фаз воды сюда могут быть отнесены, правда с некоторым сомнением, те аморфные образования, в которых застывают иногда капли воды, давая *аморфные образования*, возможно представляющие формы переохлажденной жидкой воды. Эти образования, может быть, вовсе не редкие для верхних частей тропосферы, могут считаться особой однородной физической фазой воды. В ее истории эти образования, иногда неправильно называемые ее коллоидальными состояниями, сейчас не выяснены в своем значении и в дальнейшем автором почти не затрагиваются. Это аналоги стеклов, а не гелей.

Несомненно, что тела эти заслуживают внимания и исследования. Интересно выяснить их газовый режим.

351. В истории жидких фаз воды физически неоднородные формы – *физические смеси* – имеют важное значение.

Это прежде всего формы с преобладанием пленок жидкостей, их измененных поверхностным натяжением молекулярных систем. Можно различить несколько типов таких смесей. С одной стороны, это *пенистые массы*, переполненные газами, в данном случае – воздухом, в которых на первое место выступают поверхностные свойства жидкостей.

К физическим же смесям могут быть отнесены и те *тонкие пленки*, которые наблюдаются на поверхности природных вод. Их нельзя отнести к растворам, так как свойства поверхностных пленок жидкостей совсем не отвечают свойствам растворителя водного раствора.

Здесь, по-видимому, всегда наблюдается изменение химического состава этих пленок по сравнению с той массой воды, на которой они лежат. Не исключена возможность, что иногда они отличаются химически очень резко от природной воды, на которой наблюдаются, и должны быть отнесены к другим группам минералов. Очень часто такие тонкие – может быть мономолекулярные – пленки органических соединений покрывают огромные пространства природных водных бассейнов.

Однако в других случаях связь их по составу с субстратом, на котором они наблюдаются, – своеобразный золь или раствор – несомненна¹.

В явлениях живого вещества и кристаллизации воды водных бассейнов эти образования играют большую роль.

Волосные и пленочные воды твердых и рыхлых тел земной коры должны быть отнесены сюда же. Таковы же почвенные «растворы». Эти явления только затронуты строгой научной мыслью.

352. Положенная в основу изучения минералогии природных вод классификация, очевидно, во многом отличается от многочисленных классификационных попыток, которые делались в этой области.

Я не счел возможным останавливаться здесь ни на их изложении, ни на их критике, не останавливаюсь и на историческом ходе наших представлений в этой области. Лишь попутно иногда касаюсь некоторых из них по мере надобности. Считаю возможным это делать, исходя из следующих двух соображений.

Во-первых, предлагаемая классификация природных вод есть неразрывная часть общей классификации минералов и рассматривает все природные воды как минералы одной и той же группы. И во-вторых, она охватывает все формы природных вод без исключения.

Благодаря этому она стоит в стороне от других классификаций природных вод, которые все захватывают только отдельные семейства вод (например, классификации минеральных вод) или в лучшем случае царств – и то их части – (например, царство подземных вод – и пластовых вод принятой здесь классификации, как например, классификация В. Линдгрена). Еще дальше от нее стоят классификации вод прикладного характера (например, в связи с санитарными требованиями). Геохимическая классификация Ф. Кларка тоже оставляет без внимания множество вод, здесь рассматриваемых.

¹ К этим телам не могут быть все же целиком приложимы обычные наши представления о растворе, так как и строение и свойства поверхностных пленок жидкостей резко отличны от тех жидкостей, которые являются растворителями растворов. Явление недостаточно изучено, но, вероятно, найдет себе место среди физических смесей (I, § 180).

Список минералов группы природной воды

353. Учитывая, конечно, невозможность дать полную картину явления, можно все же попытаться дать представление о состоянии наших знаний, сведя вместе все нам известные формы природной воды, которые мы можем – по указанным основаниям – рассматривать как ее отдельные минеральные виды, дать список этих видов.

Огромное большинство их плохо изучено.

Из рассмотрения списка совершенно ясно, что он охватывает лишь небольшую часть, может быть, менее 25–30% существующих и встреченных нами тел. Он явно сильно пополнится, как только изучение природных вод войдет в задачи минералогии.

В список включено больше 480 видов природных вод, причем в некоторых случаях (например, почвенные растворы, алюмосиликатные и силикатные соленые воды и т.п.) можно только в общих чертах указать семейство, не разделяя его на виды.

Количество всех видов много превысит 1500.

Отсутствие или, вернее, немногочисленность анализов растворенных газов мешает установить в очень многих случаях с нужной и возможной точностью *подклассы*. Это основной – конечно временный – недостаток классификации.

Но по соображениям выше указанным, считаясь с огромным значением этого явления для понимания истории природных вод, я вполне убежден, что этот недостаток будет быстро пополнен, как только сознание его значения распространится среди ученых. Уже для поверхностных вод за последнее десятилетие количество определений – хотя и в неполном размере – быстро растет. Необходимо вызвать систематический анализ растворенных газов, определяющих подклассы для пластовых вод и восходящих вод.

Для некоторых важнейших вод – как это видно из списка – можно указать только подцарства, для многих – только семейства.

Но, давая этот список со всеми неизбежными пропусками, считаю его полезным, так как он позволяет сразу видеть неполноту и недостаточность наших знаний и, очевидно, должен вызвать дальнейшую работу.

Это, насколько знаю, первая попытка систематики природных вод и, конечно, она обладает всеми недостатками первых начинаний.

Весь вопрос в том, верно ли намечены основные *линии*, принципы классификации. Если, как мне кажется, они в основных чертах намечены правильно – дальнейшая работа пойдет в их рамках, и предлагаемый обзор будет иметь научное значение.

Он будет иметь его и в том случае, если будут найдены другие какие-нибудь приемы классификации, так как вызовет своим существованием критику и, являясь первым началом, ставит проблему, в науке раньше не поставленную.

Охватывая меньше трети (вероятно много меньше) – существующих природных вод (если исходить из видов), – список может казаться мало пригодным для сколько-нибудь крупных выводов. Однако для крупных делений он

охватывает большую часть существующих вод и дает реальную возможность при дальнейшем развитии охватить все подземные воды¹.

Наиболее общие основы деления земных вод, если мы оставим в стороне виды и разновидности, как единицы дробные, и будем учитывать лишь деления крупные и, следовательно, основные, представятся в таком виде:

ПЕРВАЯ ПОДГРУППА. ТВЕРДЫЕ ФАЗЫ ВОДЫ

354–357

Класс I. Пресные формы твердой воды

Царство I. Поверхностные твердые воды

Царство II. Подземные льды

Класс II. Соленые разности твердых фаз воды

Царство III. Поверхностные льды

Класс III. Рассольные разности льдов

Царство IV. Поверхностные льды

ВТОРАЯ ПОДГРУППА. ГАЗООБРАЗНЫЕ ФАЗЫ ПРИРОДНЫХ ВОД

358–365

Класс IV. Пресные формы газообразных вод

Царство V. Наземные пары

Царство VI. Подземные пары

Класс V. Соленые формы газообразных вод

Царство VII. Наземные пары

Царство VIII. Подземные пары

Царство IX. Глубинные пары (метаморфические и магматические)

Класс VI. Пары – рассолы

Царство X. Подземные пары

Царство XI. Глубинные водные пары

ТРЕТЬЯ ПОДГРУППА. ЖИДКАЯ ПРИРОДНАЯ ВОДА

366–392

Класс VII. Пресные воды

Царство XII. Поверхностные воды

Царство XIII. Подземные воды

Класс VIII. Соленые воды

Царство XIV. Поверхностные соленые воды

Царство XV. Подземные соленые воды

Царство XVI. Глубинные соленые воды

¹ Редактор II тома Избранных сочинений В.И. Вернадского, по тексту которого печатается настоящий 5-й том Собрания сочинений, Б.Л. Личков отмечает, что при издании этого произведения не был воспроизведен список всех минералов группы природной воды, как ее понимал Вернадский, включающий 485 видов. Соответственно изменено изложение §§ 354–392 текста В.И. Вернадского. В них сохранено лишь изложение основной сущности даваемого автором деления вод на «подгруппы» и «классы». «Подгруппы» указывают состояния водных «тел» – твердое, жидкое, газообразное; «классы» выражают количества растворенных в водах веществ – пресные, соленые, рассолы – для указанных состояний вещества вод. «Царства» выражают их положение в земной коре и в теле планеты по глубине залегания: поверхностное, подземное, глубинное. – *Ред.*

Класс XI. Рассолы

Царство XVII. Поверхностные воды

Царство XVIII. Подземные воды

Царство XIX. Глубинные рассолы

Классов вод, как видно из предыдущего три – пресные, соленые и рассольные. Но если разместить их по группам – твердой, газообразной и жидкой, их будет девять. Воды этих девяти подразделений дальше делятся на царства – наземные, поверхностные и глубинные. Классы говорят о химическом составе растворов, группы говорят о состоянии воды, царства же об их геологическом положении. В рамки этого деления В.И. Вернадский в первом издании включал 485 минералов, группы воды которых мы не перечисляем (Ред.).

393. Из минералов группы воды многие являются явно сборными видами, т.е. такими, которые сейчас не поддаются уточнению и разделению, далеко не охватывают все реально существующие природные воды.

Значительное большинство из них недоступны сейчас для нашего изучения, но и из доступных мы знаем сейчас много меньше половины...

Огромное число таких вод принадлежит биосфере. В биосфере, как я уже указывал, непрерывно создаются человеческой деятельностью новые виды и исчезают или изменяются девственные древние...

394. ... Вода глубоких частей земной коры – огромная по массе и по трудности научного ее изучения – чрезвычайно мало охвачена научной мыслью. А между тем в ней мы встречаем огромную область вод, в которых кремний и алюминий играют роль, которой они не имеют в областях планеты с точки зрения истории вод изученных. Эти *кремнеалюминиевые* (вероятно *азотные*, богатые углеводородами, может быть *углекислые*) воды не введены в нашу таблицу, так как мы только и знаем, что эти тела должны существовать в механизме земной коры.

Точно так же в нее не введены глубинные воды, богатые *металлами* и *серой*, должно быть *азотно-сероводородные*, может быть содержащие *метан* и углеводороды, может быть *углекислоту* (*тиоуглекислоту?*). Это воды *цинковые*, *медные*, *серябряные*, *свинцовые*, *железные*, *никелевые*, *кобальтовые*, *висмутовые*, *мышьяковые*, *сурьмяные* и т.п. Мы знаем об их существовании лишь из наблюдений над строением жильных месторождений.

Еще третий род вод здесь не упоминается, который, однако, по-видимому несомненно существует и играет видную роль в истории воды. Это *фтористые* (*фтористо-кремиевые?*) воды, – вероятно *азотные* или *азотноуглекислые*.

395. Все это виды вод, связанные с сущей, с ее глубокими областями, лежащими за пределами стратисферы.

Но в биосфере и в стратисфере есть другие воды, которые не включены в рассматриваемый список.

Это, с одной стороны, многочисленные тины вод, лишь некоторые (немногие) представители которых попали в список, – *воды вадозные*, никогда не собирающиеся большими массами. Это, например, те капли селитр, которые выделяются в местах, часто связанных с человеческой культурой, капли растворов хлористого калия, выделяемого злаками в некоторых жарких странах (например, пшеница в Египте), те непрерывно выделяемые раство-

ры чистого CaCO_3 (богатые CO_2 воды карстовых областей, сталактитовых пещер), коллоидные растворы гидрата кремнезема, дающие начало агатам, кремням и т.п. Таких вод, вероятно, очень много; вероятно, тщательное изучение минералов земли доведет их число до нескольких сотен. Не было попыток их учета и ни разу не анализировались эти постоянно повторяющиеся, частью периодические (как указал Б.К. Поленов) минералы земли, никогда не собирающиеся заметными массами. Не может быть сомнения, что в механизме земной коры, эти минералы воды должны играть в конце концов очень важную роль, но сейчас ее оценка от нас ускользает из-за недостатка систематических наблюдений.

Тщательная регистрация и анализ этих нас окружающих и появляющихся вод является важной и нужной работой. Чем тщательнее и скорее она будет сделана, тем скорее и глубже можно продвинуться дальше в истории природных вод.

Эта задача не представляет особых затруднений.

396. Гораздо более трудной и неразрешимой в настоящее время задачей является классификация *волосных вод* (*капиллярных*), проникающих, как мы видели (§ 60), все земное твердое вещество.

Эти воды по массе сравнимы с массой воды океана (§ 40). В форме горной «влажности» есть переходы этих вод в обычные капельножидкие их формы, но огромная часть этой воды не ощутима нашим органам чувств – например, та вода, которая проникает плотные «свежие» породы, такие, как например, массивные основные (например, дунит) и кислые (например, гранит), заключающие в самых свежих образцах $n \cdot 10^{-10}\%$ воды.

К какому классу и подклассу принадлежат эти воды? По-видимому, огромное их большинство принадлежит ко второму классу *соленых вод*. Значительная часть этих пленочных вод рыхлых пород биосферы принадлежит к *пресным водам*. Неясно, могут ли они принадлежать к рассолам, что мне кажется очень вероятным для *глубинных* и для *очень древних* пород. Точно так же неизвестны сейчас *подклассы* этих пород, так как нет анализов их газовых составных частей.

К сожалению, нет количественных анализов – и даже очень мало качественных проб – для этих вод.

Мне кажется, совершенно необходимо, чтобы при суждении о химическом составе горных пород не только принималась во внимание их – удаляемая ниже точки кипения воды – влажность, но и состав этой влажности. Так же, как и для почв – *почвенный* раствор, так и для пород – *раствор их влажности* – не только является элементом их характеристики, но и реальным естественным телом, требующим независимого от них изучения, – как его свойств, так и его положения в организованности геосфер.

397. Вода, захватываемая горными породами в виде влажности, не является химически чистой водой, а имеет определенный химический состав, отвечающий месту горной породы в геосфере.

Этим первым делом определяется ее *газовый состав*. По-видимому, подавляющая масса такой капиллярно-пленочной воды содержит азот и углекислоту. Судя по составу вод включений в породах и минералах, обычно микроскопически мелких, которые связаны морфологически с этими водами, большую роль должны играть углеводороды. Но в водах пород биосферы в них должен входить кислород. Нельзя утверждать, чтобы он не сохранялся и при выходе этих пород из биосферы в тектонических перемещениях.

Вся эта область явлений сейчас не охвачена научным опытом и вызывает целый ряд вопросов, на которые физика частичных сил не дает ответа: меняется ли концентрация и состав водных растворов при проникновении в эти мельчайшие пустоты? Каков режим входящих в воду газов? Сохраняется ли их парциальное давление неизменным?

Твердое тело, ими проникнутое, не может быть инертным, не входит в особые равновесия. Должны иметь место явления диффузии и химического обмена в рамках геологического времени.

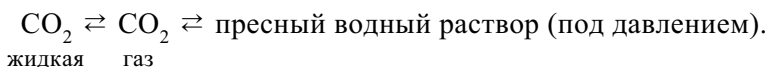
При полном проникновении породы влажностью, образующей систему невидных глазом тончайших пленок, все явления равновесия будут здесь иметь очень своеобразный характер. Вода проникает породу неподвижно, оставаясь в основе неподвижной в течение не только исторического, но и геологического времени, однако химические реакции в этих тончайших пленках должны иметь место, так как отовсюду при соприкосновении с наружной средой должны проникать вводу «влажности», как вода окружающих мест, так и сторонние тела. Всякое растворимое тело проникает во влажную среду (среди пленок) породы медленно, тысячелетиями, сказываясь в своих результатах только в ходе тысячелетий. В истории многих минералов влажность пород является важной областью химических реакций, которые только начинают охватываться научной мыслью. С этой точки зрения интересны недавние опыты А. Уайтмана (Whitman, 1928), доказавшего, например, что диффузия KJ во влажном, находящемся во влажной среде, плотном куске мрамора (из Вермонта) происходит так же, как если бы она шла в сплошном объеме воды, отвечающей по объему куску мрамора. Эти опыты доказывают, что пленки воды, проникая во все мельчайшие поры и трещины мрамора, образуют в действительности единое, непрерывное целое. Химическая реакция и явления растворения в куске породы могут идти до известной степени так, как если бы вместо этого куска был отвечающий ему объем воды.

Все явления диффузии идут очень медленно, но в порядке геологического времени эффект их может быть чрезвычайен.

Эти воды должны иметь большое значение в связи с радиоактивным распадом: в них должны собираться вновь образующиеся атомы радия, свинца, гелия, иония и т.д.

Область этих вод не изучена. Все указывает, что перед нами здесь открываются десятки, если не сотни, новых видов породных вод.

397а. Необходимость тщательного изучения с этой точки зрения горных пород и минералов становится перед нами с особой ясностью, когда мы обратим внимание, насколько слабо представлена в списке вод вода включений (в главной части – микроскопических) горных пород и минералов. В сущности после основных работ Г. Сорби (Sorby, 1858–1869) наши знания о химизме процесса (§ 423, 429) остановились; получены лишь отдельные поправки и частности. В общей форме значение этих водных растворов не осознано минералогами и геологами, а между тем, в отдельных случаях мы и сейчас имеем здесь воды, которые совершенно, не повторяются ни в одном подцарстве, например, равновесия:



Мы имеем здесь возможность проникнуть в глубинные воды в такой степени, в какой не дает нам возможности никакая другая вода.

Включения водных растворов, проникающих иногда массивные и метаморфические горные породы в огромном числе, по наблюдениям Пфаффа (1870), вместе с волосной водой горных пород составляют по весу 0,18–1,8% веса горной породы, исчисляя на химически чистую воду. Это дает понятие о масштабе явления.

Включения, – кажущиеся нам замкнутыми, но в действительности вероятно тесно связанные с той губчатой системой, тем водным скелетом, который характерен для всякого минерала и горной породы земной коры в форме пленчатой волосной воды, – требуют сейчас самого настойчивого, систематического изучения. Это изучение во многом изменит наши представления об истории природных вод в более глубоких участках земной коры.

После работ Сорби прошло 60 лет, и с тех пор мощь нашей научной работы более чем удвоилась. Тот, кто возьмется за эту работу сейчас, имеет перед собой область огромных и важных достижений.

398. Когда уже весь первый том этой книги был сдан в печать, первый его выпуск вышел в свет, а второй подписан к печати, вскрылось новое явление в свойствах природной воды, которое коренным образом меняет все наши о ней представления, открывает новые проблемы и заставляет пересматривать и уточнять – в мелочах и в крупном – ее историю на нашей планете.

В 1933 г. Урей открыл существование тяжелого водорода с атомным весом почти вдвое большим, чем вес обычного водорода, а вскоре Льюис (оба в США) доказал присутствие в природных водах новых изотопических разновидностей воды с тяжелым водородом H^2 и кислородом O^{18} – вод состава H_2O^{16} и H_2O^{18} наряду с обычной H_2O^{16} .

Льюис же указал, что количество тяжелой воды в природных водных растворах меняется в зависимости от ее нахождения и что вода, обогащенная тяжелой водой H_2O^{16} , резко разнотипно выявляется по сравнению с обычной водой в разных биологических явлениях. Организмы разнотипно относятся к соединениям разных по весу изотопов водорода.

Это различие в биологических проявлениях разных по их изотопическому составу вод, очевидно, должно глубоко отражаться на строении биосферы, при том значении, какое в ней имеют живые организмы (§ 112 и сл.).

Но помимо этого возникают сейчас же новые вопросы, которые раньше не ставились: должны – с новой точки зрения – быть пересмотрены все положения, которые выведены в первом и втором выпуске этого тома «Истории минералов земной коры».

Все эмпирически выведенные положения остаются неизменными, но уточняются. Открываются новые понятия явлений.

Во-первых, открыто в составе природных вод новое переменное совершенно непредвиденное в главе о коллоидах и капиллярных водах в земной коре (§ 150 и сл.).

Новые отсутствующие в нашем эмпирическом суждении о водных растворах (§ 181 и сл.) компоненты выявляются в природных водных растворах H_2O^{16} , H_2O^{18} , H_2O^{18} , оставляя в стороне мыслимость соединений с H^3 и с O^{17} .

Вместо одного единственного компонента H_2O^{16} возможно *шесть*. В таблицу § 203 надо внести новую группу компонентов (четвертую) – *изотопических компонентов* воды. Всех родов компонентов будет 16, а не 15.

Несомненно новые проблемы возникают в связи с гидратацией и дегидратацией (309), с синтезом и распадением молекул воды (317).

Лишь эмпирическое исследование покажет, какие изменения придется внести и придется ли в классификацию минералов вносить группы воды (§ 333 и сл.).

В дальнейшем изложении в соленых и рассольных водах я буду принимать во внимание существование смесей изотопических молекул воды в природных водах и их изменения.

Фактический материал, однако, только что начинает собираться.

7. Эволюция представлений о химии природных вод в связи с изучением их истории в земной коре

399. Химия природных вод и есть их минералогия. Может быть ни для одного природного тела это не сказывается так резко; ибо ясно на каждом шагу, что нельзя изучать химию природных вод, не изучая ее природную обстановку. Гидрохимия – химия природных вод – есть часть науки о земле, часть минералогии. С этим мы уже встретились, когда в классификацию природных вод надо было как видные и исходные признаки деления внести физико-географические и геологические явления (§ 336).

Гидрохимию нельзя охватить, основываясь только на данных современной химии и физической химии. Она сейчас, как столетия раньше, охватывает множество проблем, которые выходят за рамки современной физики и химии. Можно думать, что так будет всегда, так как по мере улучшения методов физики и химии в гидрохимии открываются новые, негаданные явления, которые остаются за пределами опытного знания данного исторического момента. Сложные природные явления никогда нацело не охватываются научными построениями.

Сложность изучаемых в гидрохимии явлений такова, что они во всякую эпоху научного развития выходят за пределы современной им физики и химии. Несмотря на огромный рост наших знаний с XVII в., когда впервые основные начала физики и химии охватили понимание природных вод, несмотря на огромные успехи точного знания, область, стоящая за их пределами, не уменьшилась.

Так будет и дальше. Изучение природных вод должно основываться на физике и химии, но оно всегда выходит за пределы их исторически меняющегося содержания.

К этому присоединяется и то, что задачи, которые ставятся гидрохимии, далеко не укладываются в рамки изучения природных вод как естественных тел планеты – минералов и пород. Часть ее задач ставится потребностями жизни, и приходится изучать такие свойства и такой состав природных вод, которые имеют значение только в связи с жизнью человека и его техникой. Эти проблемы выступают на такое место в гидрохимии, какого они никогда в ней не имели бы, если бы вода изучалась вне прикладного ее характера.

400. В конце концов им был придан химический облик, ибо все свойства тел связаны с их химией и физикой.

Так в гигиене принимают за *хорошую питьевую* воду – воду, в которой не превышаются следующие числа в вес. % (пределы Тимана и Гертнера (1889–1910), принимаемые Г.В. Хлопиным (1929):

Плотный остаток	$5,0 \cdot 10^{-2}$
Органических веществ	$4-5 \cdot 10^{-3}$
Ca и Mg	$1,8-2,0 \cdot 10^{-2}$
Cl	$2-3 \cdot 10^{-3}$
SO ₃	$8 \cdot 10^{-3}-1,0 \cdot 10^{-2}$
N ₂ O ₅	$1,5 \cdot 10^{-3}-5 \cdot 10^{-4}$
NH ₃ , NO ₂	крайне ничтожные следы

В то же время чистая вода может заключать, по Микелю (указываются Г.В. Хлопиным, 1929), в 1 см³ до 1000 колоний бактерий (примерно, порядок $10^{-7}-10^{-8}\%$ по весу)¹.

Вся система исследования вод, с точки зрения жизненного их значения, связалась с их химическим составом.

Нужные человеку свойства выдвинуты жизнью, и их физико-химическое изучение резко сказалось на эволюции наших представлений о химии природных вод.

Очень ярко выдвинуты эти свойства в таком аспекте схемой А.Г. Бусвелла (1928), недавно воспроизведенной в русской литературе Н. Славяновым (1929), связывающей интересующие человека физико-химические свойства природных вод с их химическим составом. Вот эта схема (рис. 9).

Среди этих свойств мы видим ряд таких, которые отсутствуют в точном физическом описании и определении химических тел.

401. Изучение этих свойств воды, важных для жизни, шло одновременно с независимым изучением ее свойств как естественного тела (минерала) или как химического соединения.

И в том и в другом случае применялись научные методы исследования, и иногда эти определения воды совпадали.

Но воду изучали с физической и с химической точки зрения и другим путем – в ее проявлении в окружающей среде, в ее отражении в химических процессах и в химических свойствах всех форм воды, которые получались в результате природных процессов; изучали состав почвенных, волосных вод, проникающих твердые тела, или вод, которые заполняют природные вместилища, частью образовавшиеся их деятельностью.

Исключительное значение воды в истории земли ставило и необычные пути в изучении ее химических свойств и химического состава. Их изучают не химики – задания ставятся не химией.

¹ Принимая во внимание и другие указания, в том числе и такие, которые относятся к сухим местностям с солоноватой водой [для Екатеринославской губ.– Буткевича (1914), для Донской – К. Лисицина (1927)], сопоставление Н. Славянова (1929) дает следующие максимальные числа (в вес. %):

Плотный остаток	$2,5 \cdot 10^{-1}$	N ₂ O ₅	$1,0 \cdot 10^{-2}$
Cl	$3,0 \cdot 10^{-2}$	NH ₃	$1,0 \cdot 10^{-4}$
SO ₃	$5,0 \cdot 10^{-2}$		

Так, изучая деятельность льда, в частности явления замерзания морской воды, *геолог* изучает химический состав соленых разностей льда и изменение тех своеобразных рассолов, которые получаются при кристаллизации морского соленого льда; *биолог*, исследуя условия жизни организмов, выясняет химический режим газов водных бассейнов или химический состав донных вод, определяя состав мути; *географ* изучает и состав текучих водных масс – речной воды.

Те же, или вернее того же порядка, химические проблемы выступают при изучении природных водных масс в *приложении к жизни* вне той схемы, которая дана Бусвеллом (§ 400), в приложении не к быту человека, а к государственным и социальным его проявлениям.

Вопросы гидрохимии выступают при изучении явлений орошения, ирригации, гидротехнических сооружений и т.п.

Химия природных вод создается, таким образом, особым путем, отличным от других отделов химии. В ней все большее и большее значение приобретают проблемы и факторы, вызывающие исследования, чуждые обычным химическим лабораториям.

402. Вся научная работа, связанная с разнообразными практическими заданиями, шла одна от другой независимо, производилась специалистами, зачастую не знавшими о смежной работе в других науках.

Химия минеральных вод и грязей тесно связана с врачебной практикой – с бальнеологией; изучение пресной воды – рек, озер, источников, грунтовых и пластовых вод – является уделом гидрологов и гигиенистов; изучение морской воды составляет задачу океанографов; исследование химии вод почвенных, ирригационных, напорных пластовых, вод орошения занимает внимание специалистов, далеких от перечисленных, – инженеров и техников, почвоведов и агрономов.

Благодаря этому гидрохимия и минералогия вод как целое сложились медленно, подходили к единому охвату природных вод круглым путем.

История эволюции идей в этой области приобретает поэтому очень своеобразные черты и заслуживает пристального внимания.

403. Основные понятия и эмпирические обобщения современной гидрохимии и минералогии вод сложились во второй половине прошлого века, но

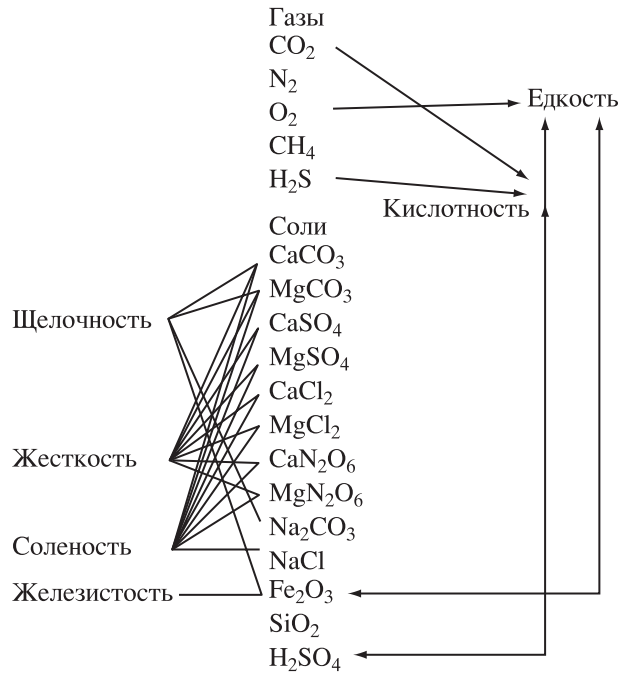


Рис. 9. Схема связи физико-химических свойств вод с их составом (по А. Бусвеллу)

они вырабатывались в течение столетий, вернее тысячелетий, и медленно проникали в научное сознание.

Самый объект гидрохимии, понимание ее содержания, связи ее с минералогией не являются чем-нибудь установленным. Они постоянно меняются. То ее понимание, которое проводится в этой книге, во многом отличается от распространенных ее определений, ибо гидрохимия природных вод есть часть минералогии, что обычно забывается.

Научное изучение гидрохимии в современном ее направлении может быть прослежено в непрерывном последовательном развитии с конца XVI, с начала XVII столетия. Но уже за долгие столетия раньше началась научная работа в этой области. Корни наших представлений могут быть прослежены вглубь, на тысячелетия.

404. История наших представлений о природных водах своими корнями уходит в глубь дальше захваченных записью преданий. Значение воды в природе и жизни вызвало глубочайшие обобщения в трех древнейших центрах цивилизаций – средиземноморской (Египет), месопотамской и индийской¹.

405. Корни нашей научной мысли связаны с гущей жизни – в частности с лечебными свойствами воды и с ее значением в земледелии. Они идут много глубже в даль веков, чем думают, и только отчасти связаны с проникнутыми религиозным и художественным вдохновением, религиозными и философскими интуициями, построениями и обобщениями, далекими отголосками которых являются письменные памятники.

Далеко в прошлое идут те проблемы, которые выдвигались ирригационными и гидравлическими работами, техникой в узком смысле этого слова. Ясного понятия о сумме эмпирических знаний в этих областях в эти далекие от нас времена мы сейчас, к сожалению, иметь не можем. Нельзя, однако, не отметить, что история знаний начинает со все большей точностью выявлять такой объем этих эмпирических знаний и во многом такое их совершенство, которому не верила наука XIX столетия. Мы начинаем осторожнее относиться

¹ П.И. Вальден правильно вспомнил их как исходные построения обобщающей мысли в ее научном проявлении в истории химических представлений о растворах. Древнейшие космогонии Междуречья, культурное влияние которого сказывается во всех древнейших культурных центрах Старого Света, от китайского до эллинского, так представляли роль воды в мироздании: «Еще не было вверху неба и внизу земли, но уже царствовали боги океана (Апсу) и моря (Тиамата)». Так сложилось представление о Вселенной за 5000 лет до нашего времени, в котором основная роль отводилась водным скоплениям. Примерно на одно тысячелетие позже в Египте космогония охвачена той же идеей: «Вначале не было ни неба, ни земли; окруженную густым мраком Вселенную наполняла первичная вода». Еще через одно тысячелетие в Ригведе – гимнах древней Индии – роль воды определялась так же: «Тогда еще не было ни бытия, ни небытия, ни воздушного океана, ни небесного свода, – был мрак, было первичное вселенское море...»

В этих попытках обобщающей мысли путем космогонии на протяжении тысячелетий выявлялось понимание значения воды в земных явлениях, и прежде всего в жизни, какое охватывало мыслящего человека, которое проникало сознание состоящего в большей своей части из воды живого существа, до зарождения научной работы. Он перенес на всю Вселенную то, что он видел и чувствовал на Земле.

Это древнее представление перешло в древнюю эллинскую науку немногих столетий позже сложения Ригведы. Его мы видим у Фалеса. Но у него оно приняло другой характер – не «воды» и Океан-море, а вода, как жидкое, подвижное, всепроникающее, являлась началом всего. Оно сохранялось века в построениях, связанных с ионийской философией.

к уцелевшим указаниям эллинских писателей и к догадкам историков знаний конца XVIII столетия, представлявших себе ход цивилизации иначе, чем мы.

В огромной литературе тысячелетий, из которой до нас дошли ничтожные отрывки, но которая оказывала в свое время влияние целиком и существовала и охватывала в течение столетий научную мысль в таких размерах, которые мы не можем сейчас даже себе представить, несомненно находятся корни многих современных представлений. Но очевидно, непрерывное развитие гидрохимии и минералогии воды не могло иметь места, пока не были выявлены в основных чертах две стороны научной картины мира: во-первых, пока не были выяснены основные черты химии и эмпирически и, хотя бы без всякого теоретического объяснения и рационалистического понимания, реально введены в научный обиход химические элементы, и во-вторых, пока не были получены основные понятия о Земле – о ее размерах, о ее форме и о ее положении в Космосе.

К этому научная мысль начала подходить с XVI столетия, приблизившись к нему в предыдущем XV. С XVI в. может быть прослежен – явно начинается сперва медленный, а затем все более быстрый ход научной мысли в этой области, приведший к современным представлениям.

Основным условием этого развития явилось создание новых точных инструментов и научной терминологии. В частности по отношению к природным водам, – XVII в. дал основы точной методики для измерения температур, метеорологических инструментов, определения туч и влажности, приборов и методики точного химического анализа, научных классификаций.

В это время стал основной задачей научной работы точный, количественный учет всех без исключения окружающих явлений и предметов, выработка такой научной терминологии, которая позволила бы создать общий, единый для всех научный язык, точный, ясный и удобный.

406. Можно оставить поэтому в стороне научные искания эллинской науки, которые сохранились в небольшой части в средние века или вошли в эпоху Возрождения. Надо лишь помнить, что в древней эллинской науке уже были первые точные основы научных представлений о физико-химических свойствах природных вод и о их различии в этом отношении. Так, мы находим у многих древних ученых, в частности в эпоху Аристотеля, в общем правильное представление о соотношении между атмосферными осадками и речным режимом¹.

У одного из известных врачей первого века нашей эры – у Архигенеса из Апаimei – мы находим деление минеральных вод на щелочные, железистые, соленые и серные – очевидно очень древнее деление, связанное с уходящей далеко вглубь, может быть за тысячелетие до него, бальнеологической обобщающей мыслью.

Но в эпоху, когда складывалась наша научная мысль в XV–XVII столетиях, эти и другие точные указания эллинской мысли и научной работы XII–XV столетий терялись в чуждой науке постановки религиозных и натурфилосо-

¹ Сейчас нередко эти идеи приписываются Витрувию. Витрувий лишь излагал то, что за несколько столетий до него научно знали древние греки, опиравшиеся на достижения точного научного знания IV и V вв. до нашей эры.

софских построений грубой эмпирии техники. Они мало влияли на научную мысль.

Наша научная мысль в этой области знаний медленно в течение долгих столетий с XV в. выходила на верный путь.

407. Для того чтобы понять медленный ход достижений в гидрохимии и в минералогии воды, необходимо восстановить ту странную картину природы, которая царила в науке в некоторых случаях до первой половины XVIII в. и которая не допускала выхода на верную дорогу. Она ясно выявлена историческими изысканиями прежде всего немецкого ученого Э. Высоцкого (Wisotzki, 1897). Вплоть до конца XVII в. представление о количестве воды в реках и дождях по сравнению с количеством воды Океана и морей было обратным тому, какое отвечает реальности – считалось, что реки по массе преобладают в ежегодном своем проявлении над массой воды Океана и морей, и в то же время не принималось во внимание существование в атмосфере невидимого водяного пара, выпадающего в виде росы или сгущающегося в тучи. О нем не знали. Для того чтобы объяснить постоянство уровня океанов и морей представляли себе землю, пронизанную пустотами, вроде губки, и считали, что океаническая и морская вода проникает в сушу. Эту воду видели в соленых и в минеральных источниках, отличие состава которых от морской воды было неясным, и в соленых озерах, присутствие которых не представлялось чем-нибудь особенным. Одной из загадок, вызывавших чрезвычайное внимание и большую литературу, было Каспийское море. Не могли понять, как это в него все время текли реки и на него падали дожди, а уровень его оставался прежним. Считали логически неизбежным допустить, что Каспийское море имело подземное соединение или с Черным морем или с Океаном каким-нибудь другим путем. Точная географическая карта Каспийского моря, снятая по инициативе Петра I Ф.И. Соймоновым и др., имела поэтому большое значение. В нем (как и для Ботнического залива) искали где-нибудь водоворота, куда уходила бы в недра земли из него вода, одного из тех водоворотов, которые царили в науке в XVI–XVIII вв., сохранились в фольклоре моряков вплоть до наших дней и которые связаны с этим древним представлением о строении планеты. Еще в 1748 г. наша Академия наук по инициативе Бюффона обращалась к местным властям в Астрахань с запросом, есть ли какие-нибудь указания на водовороты в Каспийском море. Основываясь на полученном ответе, вопрос о подземном соединении Каспия с Океаном был решен Бюффеном отрицательно. Скоро началась обратная реакция, и правильно замеченные в XVIII в. понижения уровня Каспийского моря аббатом Шапп д’Отрош (Chappe d’Auteroche) были сочтены им же ошибкой (1761). В XVIII столетии это были уже отголоски замиравшего научного представления.

408. Ибо уже в конце XVI, в начале XVII в. отдельные исследователи имели правильное представление о взаимоотношении воды тропосферы, суши и океана. Самостоятельно мысливший и шедший вне рамок школьной науки гениальный художник, керамист, натуралист, погибший стариком в тюрьме, гугенот Б. Палисси (Palissy, 1510–1590) имел о круговороте воды в биосфере совершенно правильные, в основе современные представления. Отдельные – немногочисленные – голоса раздавались, как мы теперь видим, и позже, в первой половине XVII в., возражавшие против господствовавших ложных

построений. Но только в конце XVII в., после того как был к решению вопроса применен количественный метод учета и математического охвата явления, впервые – П. Перро (P. Perrault) (1674), создалась в этой области наша современная картина мира. П. Перро принадлежал к замечательной семье четырех братьев, оставивших глубокий след в культурной истории Франции второй половины XVII в. (один из них был строитель Лувра). Применив на частном примере Сены точный математический учет метеорных осадков, дебита реки, испарения, он доказал, что в первом приближении здесь наблюдается явление, отнюдь не требующее каких-нибудь особенных гипотез для объяснения наблюдаемого постоянства морского уровня. Хотя казалось против выставленного им численного охвата явления трудно было возражать без новых наблюдений, но идея Перро была признана лишь после его смерти. В свое время она обратила на себя внимание, и по его пути пошел крупный ученый, человек одного круга с Перро, Э. Мариотт (E. Mariotte, ум. 1684), который пошел дальше и глубже и которому часто приписывают начало нового понимания явлений, приведшего к крушению старых идей. Но вскоре ход идей был забыт. Значение Перро было установлено через 200 лет Э. Высоцким (1897). Любопытно, что и это было забыто, и в 1928 году канадский геолог Ф. Адамс вновь выдвинул роль Перро, с большим трудом восстановив авторство П. Перро в анонимном английском изложении работы его в изданиях Лондонского Королевского общества XVII века...

Работа Мариотта была напечатана в 1686 г. после его смерти, и сейчас же – и независимо – те же идеи были развиты еще глубже и шире (1687–1691) молодым современником Перро и Мариотта – Э. Галлеем (Halley, 1656–1724). Галлей ясно понимал, что вопрос идет об одном из важнейших *равновесий* в биосфере, «grand Phaenomenon», как он говорил. Он впервые выдвинул в нем значение росы и невидимого водяного пара (1687) атмосферы. Он же первый указал (1691) на важное и закономерное значение в этом равновесии живого вещества – растительности суши.

409. П. Перро, Э. Мариотт и особенно Э. Галлей установили в 1674–1691 гг. существование в *биосфере* основного равновесия (рис. 10). С этого времени гидрохимия получила прочную базу, и можно проследить непрерывный, все разрастающийся ход научной работы в этой области.



Рис. 10. Основное равновесие воды

Старший современник Галлея, одновременно с ним независимо работавший, один из основоположников современной химии, точный и неутомимый экспериментатор Р. Бойль (1621–1691) пошел дальше. Он остановился на химическом характере морской воды – на содержании в ней солей и газов.

Для Бойля соленость моря являлась исконным явлением, но он учитывал (1674) и принос солей реками благодаря выщелачиванию суши; в то же время

Бойль подчеркивал растворение дна и берегов морей. Уже вскоре (1691) Галлей в свое равновесие ввел и унос солевых частиц из морей испарением морской воды.

Бойль установил или вернее обратил внимание на другое равновесие:

вещество суши \rightleftharpoons вещество гидросферы,

играющее еще бóльшую роль в гидрохимии нашей планеты и охватывающее множество – главную массу – химических элементов.

Бойль не делал вывода о денудации суши, но делал другой – он поставил вопрос о постоянстве солевого состава морской воды. Средняя соленость, им определенная, близка (с точностью до 1%) к современной, как это указал Г. Менникс (Moennicks, 1899).

Он покончил и с другим живым еще в его время ложным представлением – с мыслью о пресном характере морской глубинной воды. Хотя уже в конце XVI столетия (Патрици и Мочениго – около берегов Кандии¹) доставали соленую воду из морских глубин, но старая идея, связанная с губчатым, переполненным пустотами, куда вливаются пресные реки, строением земных глубин, еще господствовала в эпоху Бойля. Точные исследования Бойля глубинной воды из прибрежных к Англии морей предали забвению старое заблуждение.

Еще важнее открытие другого явления, в котором Бойль играл очень видную, ведущую роль. Это – выяснение газового режима природных вод. Два крупных человека создали здесь основы нашего знания – О. фон-Герике, ученый и государственный деятель (1602–1686), и Р. Бойль, ученый и теолог, – оба крупнейшие экспериментаторы с ясным, точным и глубоким пониманием природы.

Работая над дыханием животных, Бойль (1670) поставил вопрос, который, как ему казалось, «не ставил еще до него человек», – растворяется ли воздух в воде и вообще в жидкости. Он сознавал трудность задачи, ему казалось, что количественное решение вопроса представляет может быть непреодолимые трудности «и возможно ли еще вообще» (if at all possible). Отто Герике опубликовал сам свои результаты позже (1672), но он ясно понимал явление прежде Бойля, и он первый (раньше Бойля) изобрел воздушный насос (1641, по Э. Гоппе), многократно делал долгие годы опыты с ним публично; его результаты стали широко доступны за пределами Германии опубликованные в работе О. Шотта (1664).

Герике и Бойлем растворение воздуха (т.е. газов) в воде было неопровержимо доказано. В 1690 г., через 20 лет, к тому же вопросу уже более точно количественно подошел и вновь его установил И. Бернулли (Bernoulli, 1665–1708). С тех пор это представление вошло в научное сознание.

Так было установлено третье основное равновесие природных вод:

газ \rightleftharpoons вода

в его форме господствующей в биосфере:

Газ \rightleftharpoons Жизнь
↕ ↕
Вода

¹ Кандия – о-в Крит.

В истории воды его значение стало ясным только в XIX столетии (§ 483)¹.

410. К Бойлю мы подходим, изучая ход и других частей гидрохимии с его времени непрерывно и неудержимо, исходя из его идей, находящихся в интенсивном эволюционном процессе.

Он положил основы нашему представлению о химическом элементе, о простом химическом теле. Он же, овладев совершенно небывалым до него знанием свойств этих тел, дал основы аналитической химии.

И в то же время, резко отделив минеральные источники от морской соленой воды и связывая их с химическим действием воды на окружающую их твердую земную среду, он окончательно выяснил их отличный от моря и разнообразный химический характер (1685).

Вместе с тем он ясно понимал и другое явление, связанное с целым рядом этих вод, – их переход на земную поверхность из земных глубин, обладающих высокой температурой.

Повышение температуры, очевидно, было замечено уже давно в рудной практике, хотя в это время не доходили до тех больших глубин, где оно очень заметно. Несомненно, сознание о нахождении на земных глубинах горячих вод уже в конце XVI – в начале XVII в. проникало в ученую среду; находят отдельные неясные указания в литературе начала XVII в., но в более общей форме идея о горячих водах земных глубин была печатно высказана в середине XVII в.: А. Кирхером (1601–1680) в 1657–1664 гг. и в посмертном издании работ И.Б. Ван Гельмонта (1577–1644) в 1648–1656 гг. Ван Гельмонт даже высказывал предположение, что эти горячие (теплые) подземные воды по массе превышают океаны и реки. Это все старшие современники Бойля. Бойль первый, однако, по-видимому, пытался учесть существование нагретых подземных вод в указанных выше представлениях об их значении в истории природных вод.

411. Окончательное представление о высокой температуре земных глубин, хотя и принятое в философской концепции Декарта (1643), вошло вполне в сознание и распространилось лишь в XVIII столетии и стало господствовать в первой четверти XIX в. (§ 420).

В истории природных вод оно сказалось в двух областях: в учении о минеральных источниках и в учении о происхождении минералов и металлических руд, о вулканических явлениях.

Минеральными водами издревне занимались; их изучали врачи. С успехами химии в XVII столетии наши знания о них получили прочную основу, уже эмпирически точную, раньше чем был узан состав самой воды и создано понятие раствора (§ 413).

Непрерывно со второй половины XVII и в первой половине XVIII в. ряд выдающихся врачей обратил особое внимание на изучение химических свойств минеральных вод в связи с их медипинским значением. Ф. Реди (1626–1691), Дюкло (1675) (Cotereau Sieur Du Clos ум. 1715), А. Валлисниери (Vallisnieri, 1661–1730), Ф. Гоффман (Hoffmann, 1660–1742) и другие собрали огромный точный материал. Гоффман перенес на континент точную методи-

¹ Нельзя не отметить, что как раз анализ этого явления для воды дал первую опору атомистическому представлению о газах (и химических телах) И. Дальтона (1803) (ср. § 415).

ку великих английских ученых этого времени, прежде всего Р. Бойля (§ 409). Он может считаться основателем бальнеологии. Дюкло (1667) открыл в них (и в море) магний, а к началу XVIII в. Гоффман дал научную химическую классификацию минеральных вод (1708).

Через 70 лет Т. Бергман (1748) (Bergmann, 1735–1784) знал, что в природных водах находятся в растворе газы – воздух, CO₂, углеводороды, органические соединения, углекислые, сернокислые и азотнокислые соли, аммоний, Na, K, Ba, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Go, As, сернистые соединения.

412. Эти шедшие снизу термальные источники, которые сейчас мы связываем с теми гидротермальными водами, которые дают начало минеральным – рудным – жилам, долгие столетия стояли в научной мысли от них отдельно.

Минеральные жилы обратили на себя внимание уже давно в связи с рудным делом. Агрикола (Бауэр, 1490–1555) и Р. Бирингуччио (1480–1531) уже в XVI столетии свели – и самостоятельно обобщили – вековой опыт рудокопов. Для них были ясны влияние воды в образовании этих жил и их связь с трещинами и пустотами биосферы и стратисферы¹.

Однако прошли столетия, пока эта мысль приняла научную форму и привела к идеям, открывшим путь к научным работам. Здесь мы не видим самого объекта, водного раствора, который должен был быть целиком восстановлен из наблюдения его твердых продуктов, следов его нахождения. Его проявление изучалось в биосфере или в стратисфере, а раствор существовал глубже.

И сейчас только начинают восстанавливаться в нашем научном сознании основные черты процесса.

Очень далеки от современных представлений все многочисленные теории и объяснения, которые господствовали в эпоху, когда не было понятия о химическом элементе, о растворе, о растворении воды, когда допускались воздействия небесных светил для зарождения металлов...

В отличие от минеральных источников, где участие воды и приход вод из глубин видны и ощутимы, надо было подойти к этому путем толкования на вид совершенно других явлений – металлических руд и их нахождения в горных породах.

Путь был долгий. Несколько этапов мысли должны быть здесь отмечены.

Участие поверхностных вод и поверхностных трещин было ясно со времен Агриколы и в разных формах было высказываемо. С трудом пробивалось сознание о значении вод совершенно иного характера, шедших или существовавших в земных глубинах и из них выходявших в биосферу. Мне кажется, впервые эта мысль была введена в науку оригинальным химиком и минералогом, позже петербургским академиком М. Леманном (1753). (Умер в Петербурге в 1763 г. – отравился во время взрыва в академической химической лаборатории.) Он впервые указал, что вещество жил пришло снизу и связано со строением глубоких слоев земной коры или планеты. Это строение представлялось ему далеким от тех идей, к которым сейчас наука приходит. Впервые получила точное выражение – в годы, когда выяснилась идея о химическом элементе и о растворе, – другая сторона явления: роль вод биосферы в

¹ Работы Агриколы напечатаны в 1530–1540 гг. Бирингуччио – посмертно.

горячих восходящих водах, роль, стоящая в нашем современном представлении на втором месте. Ей придавал первостепенное значение в самом конце XVIII в. и опубликовал свои идеи – результат двенадцатилетнего наблюдения и размышления – в 1791 г. Г. Вернер (1750–1817). Вернер оказал огромное влияние: водное происхождение минеральных жил из своеобразных водных растворов вошло уже при нем прочно в научную мысль. Его понимание далеко от современного. Вернер связывал все явления исключительно с водой поверхностной, холодной водой биосферы. Но все же значение Вернера и нештунистов в этой области было благотворно: было установлено новое, огромной важности, явление, связанное с водой, и существование нового типа вод, обычно отсутствующих в биосфере.

Уже в первой половине XIX столетия проблемы были прочно поставлены (§ 421).

Очевидно, однако, что гидрохимия могла получить прочную основу для их решения только после того, как были установлены столетней работой представления о химическом элементе и об элементарном химическом анализе и когда была разгадана химическая природа воды, вплоть до конца XVIII столетия считавшейся простым телом, «элементом», строящим природу.

413. Состав воды был окончательно выяснен в 1781–1783 гг., причем, как это часто бывает, несколько человек более или менее независимо подошли к одному решению. В 1781 г. Г. Кавендиш (Cavendish, 1731–1810) показал, что при соединении водорода и кислорода, которые он представлял себе иначе, чем мы, образуется вода; Лавуазье (Lavoisier, 1743–1794) этот опыт не удался, но ему удалось доказать, что при разложении воды металлическим железом образуется H_2 и Fe_2O_3 (1781). В 1783 г. опыт разложения воды был сделан им более точно. В этом же году рядом блестящих опытов был установлен тот же факт – состава воды из кислорода и водорода в определенных количествах – третьим великим натуралистом Д. Уаттом (Watt, 1736–1819), которому человечество обязано основным решением проблемы паровой машины.

Участие этих трех великих натуралистов в выяснении состава воды бесспорно, и трудно сейчас с несомненностью установить долю каждого из них в этом великом открытии, фактически создавшем новую химию и перевернувшем все наши представления о Космосе.

Уже при их жизни начались споры о приоритете, временами страстные и не беспристрастные. Несомненна однако самостоятельная работа мысли каждого из них, хотя каждый из них – прямо или косвенно – узнавал о работе другого. Историки науки до сих пор не выяснили всех частных открытий. Их изыскания могут иметь, однако, лишь психологический интерес. Вопрос о приоритете в науке, в научном открытии, конечно, не является мелочью, как не является мелочью точное и возможно бесспорное установление любого научного факта в любой отрасли знания но он важен только с определенной точки зрения, которая выходит за пределы моих интересов в этом историческом очерке.

Важно для понимания хода мысли то, что одновременно, в общем вне постоянного общения или вообще не сносаясь в работе, три величайших экспериментатора одновременно решили одну и ту же основную задачу и что

их открытие немедленно и бесповоротно вошло в научное сознание и было проверено¹.

Наибольшие нападки на полную самостоятельность открытия в первой фазе работы выпали на долю А. Лавуазье. Но именно он наиболее широко и наиболее глубоко понял все его значение. Именно его идеи легли в основу гидрохимии. Ни Уатт, ни Кавендиш и никто из современников не мог или не пошел так далеко по открывшемуся новому пути, как пошел Лавуазье. Работа его в самом разгаре была прервана его казнью, и его смерть замедлила на десятки лет научную работу в этой области. Лавуазье больше чем кто-нибудь в это время понимал значение воды в природе и долгие годы работал над ее химическим составом и ее природной химией: еще в 1770 г. он окончательно разрушил ошибочное, веками длившееся, представление о возможности превращения ее в «земли» и тем подготовил почву к правильному пониманию в земной коре явлений растворения.

Он же теснейшим образом связал химию природной воды с явлениями жизни – ему уже был ясен процесс ее разложения в живом веществе, переход водорода и кислорода в органические соединения (§ 326). Он ясно видел и существование в природе разложения ее молекул – так же, как и углекислоты, и ее *синтез* при процессах горения кислородноводородистых органических тел, при дыхании и питании организмов.

Наконец он же, отбросив теорию флогистона, ввел в науку представление о физических состояниях вещества, о газообразном, жидком и твердом состояниях воды. Это основа всех наших представлений об истории природных вод.

414. Конец XVIII столетия, наряду с выяснением состава воды и ее положения в химии планеты, выяснил и другое основное условие ее нахождения в земной коре – характер Океана как земной оболочки, как гидросферы.

Еще при жизни Р. Бойля (§ 409) его младший современник, рано умерший Б. Варениус (Varen, ум. 1660) дал в труде, изданном при участии И. Ньютона после его смерти (1664), первый научный очерк гидрографии морей; позже в начале XVIII столетия (1711–1725) гр. Л. Марсильи в истории Средиземного моря дал первую точную попытку океанографической работы.

Но только в конце XVIII в. начинает выявляться картина явлений во всей их мощности.

В это время теснейшим образом связалась с научной работой вековая работа над выяснением лика Земли, распределения на ней океанов и форм суши. Поставлена она была еще в XIII в. – ее ясно ставил как реальную задачу Р. Бэкон (1214–1292). Но ее решили в первом приближении великие кругосветные путешествия XV–XVII столетий. Португалец Магеллан совершил первый круговой переход в пределах гидросферы (Magellan 1480–1521. Путешествие 1505–1512).

¹ Отдельные, даже крупные ученые в течение многих лет после его открытия не признавали разложения воды, например Ж. Делюк (F. Deluc, ум. 1817) до самой своей смерти оставался при старых воззрениях (В. Гаррисон). В истории наших знаний о природных водах его работа, однако, имеет значение (§ 483). Не признавал сложности воды и Ж.-Б. Ламарк (1829) и Д. Пристлей (ум. 1804 г.), который еще в 1801 г. опубликовал сочинение, посвященное опровержению факта разложения воды.

В путешествиях конца XVIII в., окончательно выявивших картину Всемирного океана, принимали участие крупные ученые. Усовершенствование хронометров ле Руа (le Roy, ум. 1800), Бертю (Bertoud) и др. в 1764–1767 гг. позволили дать точные карты их открытий.

Особое значение имели три больших путешествия точного гидрографа и путешественника Д. Кука (1768–1779), отчеты о которых немедленно были опубликованы и в которых принимали участие такие натуралисты, как Банкс (ум. в 1820), отец и сын Форстеры (J.R. Forster, ум. в 1798 г. и J.G. Forster, ум. в 1794 г.). К концу столетия французский гидрограф гр. К. Кларе де Флерье в обработке путешествия Э. Маршана (ум. в 1793 г.) ввел понятие единого Всемирного океана – т.е. гидросферы – и точно определил дисимметрию в его расположении в биосфере (§ 78). По отношению к так понимаемому – Всемирному единому океану в течение всего XVIII и в первой половине XIX в. начал выясняться его химический характер – газовый состав (§ 425), соляной состав (§ 416), распределение жизни в связи с глубиной, отложение осадков – вся его история (§ 439 и сл.).

415. С Лавуазье дальнейшее развитие гидрохимии шло уже в рамках новых химических воззрений и, с одной стороны, зависело от наших представлений о растворах, с другой, – было связано с выяснением свойств и состава *природной воды*, характер которой как водных растворов стал к этому времени совершенно ясен.

Раствор представлялся к этому времени то как своеобразная форма химического соединения, и эти взгляды были глубоко развиты в конце XVIII, в самом начале XIX столетия Бертолле (Berthollet, 1748–1822), то рассматривался как физический процесс, отличный от химического.

Отличие раствора от обычных химических соединений было известно химикам уже давно – уже М.В. Ломоносов (1745) и А. Лавуазье (1789) отмечали проявление этого различия в термическом эффекте – в выделении тепла при образовании химических соединений, в поглощении тепла при создании растворов.

Но только в XIX в. понятие раствора и его отличие от обычного химического соединения стало ясным. С одной стороны, атомистические представления охватили химию. Идеи В. Хиггинса (1789 и сл.), Уолластона (1808 и сл.) и Д. Дальтона (1807 и сл.) положили прочное основание современной химии и выяснили определенные химические соединения.

Стоя на этой почве в критике работ Бертолле, развивая их, В. Проут (1815) установил растворы – неопределенные химические соединения – в отличие от остальных химических тел. В этих представлениях получило свое место и явление *гидратов*, понятие о которых было выявлено Ж.Л. Пру (Proust, 1800) раньше вхождения атомной теории и тогда же экспериментально подтверждено П. Шеневи (Chenevix, 1804).

Возвращение сейчас к старым идеям Бертолле в додальтоновском периоде истории химии, в идеях, развиваемых Н.С. Курнаковым и его сотрудниками в физико-химическом анализе, в общем синтезе связывающих растворы и определенные соединения, позволяет объяснить существующее различие как неизбежное проявление единого явления (§ 455).

Современное представление о растворе выросло в значительной мере на изучении природных явлений – на наблюдениях – не только на опытной работе лабораторий.

Бертолле изучал самосадочные озера Египта (§ 418): морская вода и минеральные воды занимали в это время в химической мысли гораздо большее место, чем эти проблемы занимают сейчас в разросшейся группе химических дисциплин.

На фоне понятия о растворе, как только он был сформирован в новой дальтоновской химии – с ее кратными отношениями, – в течение десятилетий собирался и систематизировался огромный природный материал. Систематически анализировалась всякая вода, в действительности огромная своеобразная область разнообразнейших природных растворов.

416. В первой четверти XIX в. начали в связи с этим выясняться основные черты химии морей и океанов – гидросферы.

Изучались прежде всего моря и океаны, прилегающие к Европе, – Атлантический океан около Англии, Франции, Испании, моря Балтийское и Средиземное. Первый, кажется, Т. Бергман в Швеции (1777) дал ясную картину химического состава морской воды. Представление о постоянстве ее солевого состава, уже отмеченное Р. Бойлем (§ 409), получало постепенно подтверждение и проникало в научную мысль.

К нему подходили Лавуазье, деятельность которого была так безумно прервана (1793), позже, по-видимому, Т. Томсон (1812). В 1813 г. опубликован ряд новых данных Г. Фогелем (Vogel, 1778–1867). Около этого времени начались по идее С. Теннанта (Tennant, 1761–1815) систематические исследования его и Марсе, опубликованные в 1817–1822 гг. в работе, прерванной смертью А. Марсе (Marcet, 1770–1822), пережившего Теннанта. Русская кругосветная экспедиция (1823–1826) О. фон Коцебу (1787–1846) на корабле «Предприятие» обратила на это внимание по указанию Петербургской Академии наук, и в 1829 г. физик экспедиции Э.К. Ленц (1804–1867) опубликовал данные, указавшие на постоянство солевого остатка для глубинных вод Океана и слабые колебания для поверхностных. Он первый построил батометр (1826).

Но лишь долголетняя работа датского ученого И. Форхгаммера (Forchhammer, 1794–1865) вполне установила не только постоянство концентрации, но и *постоянство состава солевого остатка* морской воды, вернее его малую изменчивость (1849–1865). Это было первое большое эмпирическое обобщение в этой области.

Еще раньше, во время первого русского кругосветного путешествия (1803–1808) И.Ф. фон Крузенштерна (1770–1846), швейцарским натуралистом И. Хорнером (Horner, 1774–1834) была установлена другая постоянная морской воды – низкая температура дна и ее постоянство.

Наблюдения Ленца в следующую русскую кругосветную экспедицию подтвердили и установили этот вывод – благодаря усовершенствованию им термометра – до глубины в два километра.

Русские наблюдения вплоть до конца XIX столетия занимали видное место в понимании физики моря. К сожалению в середине столетия исследование океана в мировом масштабе заглохло в нашей стране.

Это крупное достижение русских экспедиций Крузенштерна («Надежда» и «Нева») вошло в научное сознание только после экспедиции Челленджера; еще в 1873 г. Уайвиль Томсон (§ 440) высказывал сомнение о низкой средней температуре океана (порядка 4 °С). Число – 3,5 – 4,0 °С, установленное для средней температуры разных океанов О. Крюммелем (1907), является одной из важнейших констант планеты.

Значение этой величины в биосфере начинает выясняться только теперь. Океаническая вода лежит целиком в поле устойчивости жидкой CO₂ (Вернадский, 1931). Ее низкая температура издавна и обычно объясняется перемещением поверхностных холодных масс приполярных вод в вековом движении – в глубины.

Эта теория была математически обработана Цеппритцем (1878) и вошла в господствующие представления.

Мы увидим во второй части книги, что она не отвечает фактам; есть более глубокие причины. Почти весь океан принадлежит к холодной области биосферы. Эта область распространяется и на сушу. Причину ее образования надо искать там же, где мы ищем причину высокой температуры земли – в распределении источника земной теплоты – радиоактивных элементов.

Позже Э. фон Бибра (Bibra, 1806–1878) впервые отметил в 1851 г. щелочность морской воды – наблюдение, долго не обращавшее на себя внимание, вновь введенное в научную мысль Торноэ (Торное, 1856–1907) в 1880 г., а в XX в. явившееся основным признаком морской воды, позволившим углубиться в ее сложный химический и биохимический механизм.

Еще один основной вопрос – о постоянстве состава в течение геологического времени гидросферы, океанической воды – получил в 1880-х годах впервые научную установку. Л. Дьёлафэ (L. Dieulafait) пытался доказать это постоянство на основании точных наблюдений. Работа его не была продолжена, вопрос еще не решен, но сейчас нельзя не считаться с приведенными Л. Дьёлафэ, и позже другими, доводами. Надо признать, что начало решению положено им.

417. В XIX в., в первой его половине, были выработаны основы современного химического анализа вод. Это было достигнуто работой поколений; методы анализа идут вглубь XVII в. (Р. Бойль) (§ 410), но лишь после Лавуазье начались крупные достижения; приблизительно после 1830–1850 гг. мы начали получать числа, которые сохраняются и в современной науке.

В методике анализов и в изучении химии вод видную роль играют и русские ученые и русские воды. Анализ уточнился на изучении наиболее разнообразных вод – минеральных, – и уже более 100 лет назад (1820) петербургский академик А.Н. Шерер (1783–1835) мог дать связную картину, в том числе и химическую, минеральных вод России – результат почти столетней работы.

Правда, через 20–30 лет после этой сводки Шерера химия минеральных вод резко изменилась. Большое значение имела специальная лаборатория Фрезениуса, основанная в 1848 г. в Висбадене и специально приспособленная к анализу вод. Эта лаборатория неуклонно работает и ныне – под руководством третьего поколения Фрезениусов (С.К. Fresenius, 1818–1897; Р.Н. Fresenius, 1847–1920; Р.В. Fresenius).

С этого времени – через весь век – тянется огромная работа собирания химических данных о природных водах, вызванная потребностями жизни, главным образом здоровья людей.

Если из этого изучения не удалось получить простых закономерностей, как это было сделано для химического состава морской воды, все же получилась картина относительно малого разнообразия состава природных вод, независимости их состава (§ 457) – в подавляющей части – от биосферы и возможности путем их изучения проникнуть в фреатические, может быть, ювенильные области планеты.

418. С конца XVIII, с начала XIX в. начал накапливаться материал о составе и характере рассольных и соленых озер. С одной стороны, великие экспедиции Петербургской Академии наук второй половины XVIII в. открыли явление самосадочных озер, которое в сколько-нибудь близком масштабе не было доступно наблюдению в пределах тогдашнего западноевропейского культурного мира. Самосадочные озера в Приволжских и Прикаспийских полупустынях, в Крыму, в Западной и в Восточной Сибири стали тысячами научно доступны, получили реальное и практическое значение и позволили делать наблюдения в огромном интервале температур, чуть не в 80–100°, в жару и в холод. С другой стороны, научная экспедиция Наполеона Бонапарта в Египет позволила ближе ознакомиться с картиной самосадочных озер в жарком, подтропическом климате.

И там и здесь сразу были достигнуты важные научные и практические результаты. Академики Т.Е. Ловиц (1757–1804) и Э.Г. Лаксман (1737–1796), изучая влияние мороза, открыли изменение состава солей при вымораживании. Исходя из изучения этих явлений, Ловиц установил новое явление – пересыщенные растворы. Позже, но еще в XVIII в., в Египте К. Л. Бертолле (1748–1822) мог в природе, в большом масштабе, проследить явления солевых равновесий (1794) и прийти к крупным основным обобщениям. В начале XIX в. (1803) в своей «Химической Статике» он положил основы наших современных представлений как о растворах, так и о тех равновесиях, которые представляют из себя самосадочные и соленые озера.

Влияние этих идей, так же как и работ Т. Ловица, сказалось много позже, через десятки лет (§ 455).

419. В первые годы XIX столетия, в эпоху, когда складывалась новая наука геология, выдвинулось изучение воды как геологического явления, и впервые могло начаться систематическое накопление научных фактов. В течение немногих десятков лет все представления коренным образом изменились.

Одно время природные воды стояли в центре внимания геологов.

Это было время знаменитого спора непунистов и плутонистов; одни придавали воде решающее значение в истории нашей планеты, другие отводили его вулканическим процессам, проявлению на земной поверхности высокой температуры глубоких частей планеты. Как часто бывает в истории науки, оказались правы оба течения.

На фоне этих движений мысли впервые в синтезе боннского профессора К. Бишофа (Bischof, 1792–1870) выяснилась огромная химическая роль природной воды. В его большой книге о химической геологии (1844–1870) мы имеем сводку ценнейших данных и ярких мыслей, оказавших огромное

влияние на всю работу в этой области. Бишоф, бывший плутонистом в первых своих работах в этой области, под влиянием изучения фактов и проверки их в лаборатории, пришел к противоположным заключениям, утверждению которых в науке он много содействовал.

Его книга представляет гидрохимию на геологической основе. Значение воды в процессах плутонических, т.е. связанных с высоким давлением и температурой, с алюмо-кремневыми расплавами и образованными при их застывании вулканическими и плутоническими породами, отходило на второй план в его сводке.

Еще более отходили этого рода проблемы в сводках гидрохимии 1860–1870-х годов немецкой – Лерха (1864) и французской – Лефора (Lefort, 1873).

Оба явления были сведены в 1880 г. (1879–1891) Ю. Ротом в химической геологии и в XX столетии Ф.У. Кларком (F. Wigglesworth Clarke, 1847–1931) в геохимии.

Здесь ярко выявилось значение воды и в вулканических процессах – на поверхности, в биосфере – и чисто магматических – при застывании магмы в глубинах земной коры.

420. Роль воды выяснилась прежде всего в вулканических извержениях, в самом механизме этих извержений.

В парах воды стали видеть ту силу, которая является основой в механизме извержения.

Идеи эти ясно сказались уже у точных наблюдателей второй половины XVIII в. – у Фожа де Сен Фон (1778) (Faujas de St Fond, 1741–1819), Л. Спалланцани (Spallanzani, 1729–1799), Г. де Соссюра (de Sanssure, 1740–1799) и других в начале следующего столетия. Многочисленные наблюдения выявили роль паров воды с несомненностью в отдельных случаях. Она была установлена и показана как общее явление в 1826 г. Ч. Даубени (Daubeny, 1797–1867) и Д.П. Скропом (Томсоном) (Scrope, 1797–1876) в независимо шедшей работе. Особенно Скроп точно выявил, что водяной пар резко преобладает по массе в колоссальных количествах выделяемых при вулканическом извержении газов.

В 1853 г. эти представления о роли водяных паров в вулканических извержениях были введены в сознание геологов Ч. Ляйелем.

Изучение вулканов ясно указало, что их извержение есть результат газового процесса, т.е. прежде всего является проявлением горячих водяных паров биосферы.

Неизбежно явился вопрос, откуда берутся огромные количества воды, выходящие в виде паров во время извержений.

Три источника их обратили на себя внимание и вызвали споры: 1) метеорные воды (это думал Ляйель), 2) морские воды (так как все, как казалось тогда, вулканы находятся вблизи морских берегов и 3) подземные воды или воды, находящиеся в исходной расплавленной алюмосиликатовой массе (магме), поднятие которой из глубины земной коры вызывает вулканическое извержение.

Как это часто бывает в истории науки, все три мнения, вызывавшие в это время горячие споры, оказались заключающими часть истины (§ 464 а). Много еще здесь остается неясным.

Вулканические явления оказались таким образом связанными в строении нашей планеты с историей ее воды.

421. Этому признанию очень много способствовало понимание ряда явлений, связанных с высокой температурой более глубоких слоев планеты, отвечавшее распространенным космогоническим представлениям Лапласа и основным с точки зрения теплового режима Земли геофизическим работам Фурье.

Понимание этих явлений привело к выяснению роли воды в выделении минералов, которым долго не решались приписывать водного происхождения, к пониманию водно-жидких горячих расплавов магм, происхождения минеральных жил как результата водных растворов и минеральных вод как явлений, связанных с магмами.

Эти новые понимания истории подземных вод созданы в 1840-х годах, но окончательно вошли в научное сознание в начале нашего века, влияя однако непрерывно и усиливаясь в своем значении в течение 70–80 лет.

Несколько этапов могут быть отмечены. Прежде всего создание синтеза минералов. Опытным путем было доказано выделение из водных растворов ряда соединений, в водном происхождении которых большинство ученых не сомневалось, но получать из растворов не умело. Начало положено работами К.Э. Шафхейтля (1845) (Schafhäütl, 1803–1890), получившего из водного раствора кристаллы кварца; в ряде синтезов Г. де Сенармон (1850) получил фосфаты, сульфаты и тому подобные аналогичные природным минералам соединения. В 1850-х годах братья Ш. и Г. Сент Клер Девилль при нагревании и давлении воспроизвели из водных растворов ряд алюмосиликатов. Водное происхождение огромных групп соединений кремния и алюминия в природе было этим доказано.

В 1840 г. Ф.К. фон Бейст, основываясь на том же саксонском материале, на котором строил свою теорию Г. Вернер (§ 412), исправил ошибку Вернера и связал металлические жильные образования с глубинными плутоническими процессами земли: воды, отлагавшие металлы, шли снизу и связаны с минеральными термальными источниками. Это воды *восходящие* (§ 712).

422. Понятие о магме сложилось в 1842–1847 гг. в тесной связи с знаменитым спором непунистов и плутонистов на частном вопросе о происхождении *гранита*. Факты, служившие опорой представлению непунистов о кристаллизации гранита из водных растворов, и другие, на которые опирались плутонисты, о его выделении из алюмосиликатового расплава, привели к понятию о расплаве алюмосиликатов, содержащем несколько процентов воды.

Надо отметить, что уже в 1837 г. И.Н. Фукс подчеркнул особенность состава гранитов, его богатство водою по сравнению с другими массивными породами, и через 5 лет в 1842–1847 гг. минералог с химическим уклоном Т. Шеерер (Scheerer, 1813–1875) на основании изучения гранитов и пегматовых образований высказал ясно и определенно понятие об огненно-водной гранитной магме. Эта идея одновременно возникала независимо от него и у других (Анжело, 1842).

В 1844 г. в глубокой концепции Эли де Бомон в Париже (Elie de Beaumont, 1798–1874) обобщил, по-видимому, независимо от Шеерера, то же понятие об огненно-водной магме, связал как минеральные источники, так и жильные месторождения металлов, образовавшиеся гидротермальным путем, с застыванием вне земной поверхности расплавленных магм. Он сопоставил солевую часть минеральных вод с возгонами вулканических извержений

и объяснил различие минеральных источников разными исходными магмами и разными условиями их застывания. Открылась связь источников с плутоническими породами. Одновременно исследования первоклассных химиков 1830–1840-х гг. И. Буссенго (Boussingault, 1802–1887) в Южной Америке и Р. Бунзена (Bunsen, 1811–1899) в Исландии дали новый точный материал для познания химии вулканов, охватывавшийся обобщением Эли де Бомона.

Ему же принадлежит окончательное установление основного деления магм и происшедших из них массивных пород на основные и кислые (1847), уже ясное для де ля Беша (1834) и вскоре развитое Р. Бунзеном (1851). Это явление имеет огромное значение в истории природных вод. Все выводы из него, даже основные, в этой области до сих пор еще не сделаны.

Эли де Бомон связывал все эти явления с тектоникой земной коры, и уже в 1840-х годах одновременно с тем же знаменитым мемуаром Эли де Бомона о вулканических эманациях (1844) ряд ученых независимо выдвинул указания на тесную зависимость распределения минеральных вод с тектоникой земной коры – с дислокационными линиями. Это указал впервые В. Роджерс (Rogers, 1805–1882) в 1843 г. для Виргинии, Дюроше для Пиринеев (1844), Г. Абих для Кавказа (1856).

Вскоре Р. Бунзен, стоя на почве этих представлений, дал две обобщающих идеи, оказавшиеся чрезвычайно плодотворными для истории природных вод. Не зная о своих предшественниках, главным образом Д. Дана (1843), он ввел (1851) понятие *пневматолита*, химических процессов, вызванных смешением или растворением паров воды (и других газов) в расплавленной или раскаленной алюмосиликатовой магме, и указал на значение при этом *давления*, меняющего точки плавления и другие физические свойства с глубиной. Эти недоступные нашему синтезу реакции играют огромную роль в окружающей природе.

Лишь в XX в. идеи Бунзена получили дальнейшее углубление и признание. В конце XIX в. был собран огромный материал, их подтверждающий и приведший к принятию концепции Эли де Бомона в измененной форме.

423. В начале XIX в., в 1810–1840-х годах, обратили на себя внимание аморфные и коллоидальные тела, богатые водою.

Брейтгаупт и Фукс, особенно первый, охватили их распространение в земной коре и установили их чрезвычайное значение в природных процессах.

Эти минералогические эмпирические обобщения, основанные на научном наблюдении, не обращали на себя внимание ни физиков, ни химиков. Строение этих тел, противопоставляемых кристаллическим минералам, которые охватывались как раз в это время научной мыслью, создававшей кристаллографию, оставалось без исследования.

В 1830–1840-х годах к этим явлениям химики подошли с другой стороны, исходя из научного опыта. Де Бодримон, Сельми, Грэхам более или менее независимо друг от друга, впервые ввели понятие о коллоидах, о золях и гелях.

Долгое время, до XX столетия эти достижения не отражались на наших представлениях о минеральных процессах земной коры. Работы минералогов и химиков были ими слабо охвачены; значение имели эти новые понимания главным образом для биохимических процессов, для понимания строения вещества организмов.

Значение коллоидальных процессов в истории природных вод, которое логически ясно вытекало из этих прочных научных достижений, проявилось только в начале XX в., через 80–90 лет после первых точных эмпирических обобщений (§ 468). Здесь следует отметить еще одну область наблюдений, значение которой не меньше, которая была отмечена в самом начале 1820-х годов и еще до сих пор не получила того внимания, которого заслуживает.

Уже давно коллекционеры знали, что многие минералы содержат *включения жидкостей*. В 1821 г. Г. Дэви, а вскоре затем Д. Брюстер (Brewster, 1781–1868) отметили и распространенность и значение этого явления. Дэви первый указал, что часто это – водные растворы, находящиеся под большим давлением. Область этих явлений только начинает вскрываться перед нами.

В 1858 г. Г. Сорби указал на огромную распространенность жидких включений в горных породах и на существование совершенно особых видов вод, им присущих. Он вернулся к этому вопросу в 1869 г. Но, несмотря на ряд новых отдельных работ, никто после него не охватил вопрос в нужном масштабе. Сейчас совершенно ясно, что здесь мы встречаемся с областью природных явлений, остановившейся в своем историческом выявлении (§ 499).

424. К 1840-м годам были окончательно выяснены основы газового режима Океана и достигнута прочная база для понимания растворимости газов в воде и ее отражения в окружающей природе. После работ Бойля и Бернулли в конце XVII в. (§ 409) началось быстрое непрерывное развитие знаний в этой области с конца XVIII в., когда впервые выделены были главные земные газы и установлен состав земной атмосферы.

К концу XVIII в. было ясно не только растворение воздуха в надземных водах, но и нахождение в водах газов в ином соотношении, чем в воздухе. Еще раньше Бойля, уже в начале XVII в. И.Б. Ван Гельмонт знал, что в минеральном источнике Спа выделяется особый газ «*Spiritus sylvestris*», тот самый, который выделяется при сгорании угля. В 1772 г. состав этого газа качественно был установлен А. Лавуазье, а в 1784 г. он же решил эту задачу количественно.

В 1778 г. Пристлей доказал, что из газов воздуха кислород растворяется в воде больше азота, и, опираясь на обогащение вод кислородом, он учитывал значение природных вод в реакциях окисления. В 1784 г. Пирсон (Pearson, 1751–1828) впервые доказал, что Бекстоновский источник в Англии выделяет чистый азот и лишен кислорода. Общность явления для более глубоких вод – как вод пластовых, так и для минеральных источников – была выяснена десятки лет позже. Отдельные наблюдения в конце XVIII, начале XIX в. были делаемы для разных источников Англии, Франции, Германии. В 1821–1822 гг. профессор в Монпелье И. Англада (Anglada, 1775–1833) указал на общность этого явления для сероводородных минеральных источников и думал связать его с генезисом этих источников.

Случайное наблюдение Пелиго в 1852 г. над новой артезианской скважиной в Париже, установившее выделение газа с глубины 547 м, указало, что это явление иного характера, не связанное ни с минеральными источниками, ни с минеральными водами. Газы вод скважины состояли из азота и главным образом из углекислоты. В 1872 г. А. Жерарден (A. Gerardin) указал на общность этого явления и исчезновение кислорода для вод, идущих с глубины 60–115 м и даже с 15 м в разных местах Франции. К сожалению эти работы

не получили дальнейшего развития и важный вопрос остался по существу неизученным до сих пор (§ 567 и сл.).

425. В 1805 г. А. фон Гумбольдт (Humboldt, 1769–1859) и Л. Гей Люссак (Gay Lussac, 1778–1850) установили разную растворимость кислорода в пресной и в соленых водах и впервые определили количественно содержание газов в речной воде – в Сене.

В 1837 г. Фреми (Fremy, 1814–1894) подошел к количественному выяснению газового режима Океана, завершив этим решение задачи, поставленной Р. Бойлем в 1670 г. (§ 409).

Газовый режим Океана был на Средиземном море выяснен в глубоких работах рано умершего молодого французского ученого Г. Эме (Aimé, 1813–1846) в 1843–1845 гг. Эме впервые ярко выяснил весь механизм явления: Океан получает газы – в главной и основной их части – из воздуха, и этим путем проникается газами вся толща Океана до его дна, в среднем мощностью до 3,8 км, часто до 6 и глубже, и в отдельных случаях больше 10 км. На всем этом протяжении давление, под которым находятся растворенные газы, сообщаемые с атмосферой, определяется не давлением слоев воды, достигающим тысячи атмосфер, а давлением пронизывающей толщу Океана собственной газообразной атмосферы (водной атмосферы), отвечающей в конце концов давлению немногих атмосфер. Работы Эме были забыты, и в 1873 г. вновь механизм был выяснен О. Якобсеном (O. Jacobsen), а уже в XX в. в 1907 г. получены точные числа К. Фоксом (C. Fox) в связи с работой международной ассоциации для исследования морей, сейчас принятые как исходное для наших суждений.

Другой вывод из исследований Эме был оставлен без внимания.

В Океане (и очевидно в природных водах вообще) мы имеем дело с случаем, отсутствующим в наших опытных работах. В природных водах газ и вода, тесно смешанные, находятся под разным давлением: вода может находиться под давлением в тысячу атмосфер, равномерно ее проникающий газ – под давлением двух-трех атмосфер. Этот вывод принят впервые в общем виде в этой книге.

426. Надо отметить одно наблюдение, сделанное Якобсеном (1873), позже количественно изученное М. Кнудсоном и Остенфельдом (1896), которое вскрыло новый фактор, меняющий растворимость газов в природных водах, – *влияние жизни*.

Якобсен доказал существование участков океана, переполненных жизнью, в несколько раз более богатых газами – кислородом и азотом, – чем это устанавливается физическими законами растворения. Он правильно указал причину в развитии хлорофильной и бактериальной жизни и установил явление, значение которого становится все большим и большим по мере изучения газового режима природных вод.

Мы теперь видим, что здесь были установлены новые явления в истории природных вод, не скоро понятые.

Было установлено не только влияние жизни на газовый раствор, общее для всех вод, но и особое состояние их газовых компонентов.

Для водоемов суши – для пресных вод – это было доказано еще раньше, впервые в Бельгии А. и Ш. Морранами (A. и Ch. Morren) в 1841 г. В неболь-

ших прудах и озерах газовый режим еще резче меняется жизнью и сейчас изучен глубже в этом отношении, чем режим океана.

Работы Морранов и Якобсена указали и на форму газовых компонентов, создаваемых жизнью; это не только растворенные газы, но и газовые пузыри, газовые тончайшие эмульсии (§ 221 и сл.), что впрочем ими не было отмечено.

427. Роль организмов выявилась в 1840-х годах и в другом природном большом процессе – в *разложении и синтезе воды*. Это было экспериментально доказано блестящими опытами Буссенго вскоре после того, как Берцелиус (Berzelius, 1779–1848), считая это явление весьма вероятным, сомневался в возможности его опытного доказательства. Буссенго доказал разложение воды – с выделением кислорода – в зеленых растительных организмах, и та же вода вновь воссоздается сгоранием углеводов в животных организмах – их дыханием (§ 327). В «Опыте статики организованных существ» (1844) Буссенго и Дюма (Dumas, 1800–1884) охватили это явление в блестящем синтезе, выявив его огромное планетное значение.

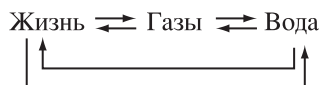
Их обобщения явно приводили к представлению об известной организованности биосферы, в которой природные воды играют такую исключительную роль. В это время они толковались иначе – теологически – в связи с тем своеобразным и глубоким течением главным образом английской мысли, которое стремилось к созданию естественной теологии. Исходя из этих построений, в 1833 г. английский крупный философ и историк науки В. Уэвель (W. Whewell) выдвинул особую «приспособленность» воды по ее свойствам для жизни среди всех известных химических соединений, обобщил при этом очень большое количество эмпирических фактов в строении биосферы, понятия о которой в это время еще не было. Уже в XX в. в 1912 г. это обобщение получило новое глубокое выражение в работах американского физиолога Л. Гендерсона, освободившись от натурфилософских и религиозных толкований, и вошло в науку как эмпирическое обобщение.

В дальнейшем изложении мы на каждом шагу увидим правильность явления, отмеченного старинными натуралистами, то связывавшими его с теологическими представлениями (естественная теология англосаксов), то с гармонией и порядком Природы. Мы имеем здесь проявление организованности нашей планеты, доступное эмпирическому изучению.

428. Роль жизни в химии природных вод оказалась еще более значительной и более всеобъемлющей, чем те синтезы и разложения молекул воды, которые ею производятся и которые приводят как к созданию живого органического вещества, так и к выделению свободного кислорода, определяющего окружающую нас природу.

Вся химия природных вод, в том числе и Океана, обусловлена в своих основных чертах жизнью, прежде всего ее метаболизмом.

Изучение режима газов, развивавшееся со второй половины XIX столетия, указало огромное влияние жизни на этот режим. Каждый новый бассейн оказался системой:



В мелких бассейнах это явление выражено более резко, чем в крупных, но оно наблюдается и в Океане.

Сознание огромного значения жизни сложилось незаметно, простым накоплением разнообразных фактов. Особенно изучение Океана, озер и прудов выдвинуло его к концу XIX в.

Среди этих исследований надо отметить три новых в конце концов явления, которые изменили наше понимание природных вод.

В первой четверти XIX столетия для понимания геологического значения вод и водной жизни имели огромное значение работы Х. Эренберга (Ehrenberg, 1795–1876). Он вновь возбудил внимание – после XVII в. – к миру микроскопических организмов, выявил новые черты их строения и жизни, их геологическое значение и роль в Океане и в других водоемах. Эренберг в ряде работ на протяжении больше 50 лет дал огромное количество новых наблюдений, выявил широкое создание микроорганизмами горных пород на протяжении всей геологической истории, обратил внимание на их значение в современных водоемах, на планктон, на создание ими свечения моря.

Еще при его жизни открылся новый мир еще более мелких организмов.

Создание учения о микробах, после работ Л. Пастёра, резко изменило все наше представление о химических процессах воды. И здесь совершенно постепенно, мало заметно совершился переход старых представлений в совсем новые формы.

429. Бактериальный мир, который этим путем открылся, изменил все наши представления о газовом режиме вод. Особое значение имело открытие живущих в водах (в частности в морях) азотных бактерий (А. Смит и Ф. Шлезинг, 1867–1868), значение которых было выявлено К. Брандтом (1902), бактерий, связывающих азот (Бейеринк, 1901; Бенеке и К. Кейтнер, 1903); бактерий, восстанавливающих сульфаты до H_2S и окисляющих сероводород – процесс, основные черты которого были выяснены С.Н. Виноградским. Сейчас, по мере изучения этих явлений, значение бактериальных процессов в структуре природных вод все увеличивается в нашем сознании. Но мы еще очень далеки от полного его охвата. Химический состав бактерий нам до сих пор неизвестен. Большое значение имеет новый метод количественного учета бактерий, данный в 1928 г. Н.Г. Холодным. Применение этого метода показало, что прозрачная вода некоторых водоемов может заключать проценты по весу бактерий.

Не меньшее, если не большее, значение имеет выявление *планктона* в водных бассейнах. Он был впервые установлен Иоганном Мюллером в 1845 г., направившим на его изучение ряд своих талантливых учеников. Это был морской планктон. Экспедиция Челленджера (§ 440–442) и особенно работы В. Гансена, выявившего основное свойство планктона – *равномерное однородное* распространение организмов в определенных областях обогащения ими – и введшего количественные методы учета, вызвавшего специальные организации (1870–1880–1889) морских экспедиций, для планктона поставили работу на правильную почву.

Сейчас вскрылись перед нами определенные, постоянно существующие концентрации – *пленки живого вещества*, закономерным образом проникающие все наземные водные бассейны и надо думать верховодки. Это места концентрации биохимических процессов. Планктонная пленка – одна из ряда таких образований (Вернадский, 1926). Она является проявлением организованности биосферы.

430. В XIX столетии шло выяснение состава поверхностных вод, выработка методов анализа и накопление большого числа количественных данных. Эта работа уже во второй половине века достигла расцвета и стала организованной.

Эта огромная работа привела в конце концов к установлению ясного представления о химии наземных вод суши – рек и озер, – вод гидросферы и отчасти подземных пластовых вод биосферы и стратисферы.

В общем химическая сторона явления этих вод не отстала от динамического их изучения: одновременно шедшего выяснения их количества, залегаания, давления.

Не то было для *вод метеорных*. Для них с XVIII столетия, а особенно в XIX в. были достигнуты ясные точные представления о динамике явления.

Химия этих вод, прежде всего интересующая минералога, чрезвычайно отстала, и до сих пор ее изучение заброшено.

Химические исследования дождевых и снежных вод начались систематически уже в самом начале XIX столетия, сперва в Германии – Р. Брандесом (1795–1842) и В. Циммерманом (1780–1825). Эти работы вскоре остановились без ясных результатов.

В 1830–1850-х годах, в связи с вопросами земледелия, возбудил большой интерес химический состав дождя и снега – в частном его проявлении в круговороте азота. Началось исследование содержания азота, его количества и форм его соединений в дождевых водах и в снеге – главным образом среди французских ученых, под влиянием идей Буссенго и Либиха.

Барраль (Barral, 1819–1887), Бино (Vineau, 1812–1861) и другие собрали большой многолетний материал, который выяснил важную особенность метеорных вод – относительное богатство их соединениями азота. А. Мюнтц позже доказал (1877–1878) интенсивность связывания азота и обогащение его соединениями осадков тропических стран.

Но все эти исследования не привели к полной картине явления, несмотря на то, что были распространены позже на серу (важны работы Джилльберта в Англии) и иод (Шатен – Chatin– в 1850-х годах). Узкая постановка проблемы – в применении к земледелию, в связи с идеями Либиха и Буссенго об азотистом питании растений, и к медицине, в связи с распространением зоба – не привела к точному химическому познанию метеорных вод, полного анализа которых не существует и до сих пор. Химия атмосферы едва затронута сейчас в истории ее важнейшего объекта – состава паров и сжижений воды.

431. Если химия атмосферы находится в таком заброшенном состоянии, то другая сторона явления – динамика и статика водных частей тропосферы – достигла большого развития. Они начались в XVII–XVIII вв., разрослись в XIX в.

К концу XVII столетия – к 1672 г. – стало ясным наше представление о земной атмосфере как о массе разрежающихся с удалением от земной поверхности газов, введенное в науку О. фон Герике (§409), в 1640–1650-х годах опытным путем пришедшего к этому представлению, которое он сперва распространял в публичных опытах демонстрациях и в переписке. Он же ясно выявил зависимость испарения воды, упругости ее паров от давления

и зависимость этого проявления в природе от земного притяжения. В 1902 г. Тейссеран де Бор и Ассман выявили существование тропосферы и стратосферы в наружной земной атмосфере.

В XIX в. выросли новые отрасли знания – метеорология и климатология, которые дали возможность количественно учесть как распределение водяных паров, туч, метеорных осадков, так и разные их количества в разных областях биосферы. К началу XX в. оказалось возможным дать полный учет передвижения водяных паров и метеорных осадков во всей биосфере. Работы Э. Брюкнера, А.И. Воейкова, в последнее время проф. Мейнардуса позволили свести эти данные в числовые итоги.

Долголетние плювиометрические наблюдения были обработаны Саймонсом и уже в 1871 г. позволили ему утверждать, что никаких изменений кроме колебаний в этих явлениях заметить нельзя.

Работа последних 60 лет подтвердила вывод Саймонса.

432. Для рек начало точных знаний относится к 1840–1850 годам, к работам французских ученых, изучивших состав рек Франции и давших методику работы, – сперва Г. Сент Клер Девилля в 1848 г. (Sainte Claire Deville, 1818–1881), потом Пелиго (Peligot, 1811–1890). Особое значение получили работы систематические, которые или охватывали большие районы или же велись в течение десятков лет одним и тем же лицом, достигавшим этим путем большой точности и представлявшим хорошо сравнимый материал.

Я уже говорил о лаборатории Фрезениусов, давших огромный точный материал не только по минеральным источникам Германии¹, но и уточнивших методику анализа поверхностных вод. Таковы же систематические работы над водами Чехии – И. Ганнамана (1894–1898), долголетние точные работы К. Шмидта в Юрьеве (Дерпте; 1822–1894) над разнообразнейшими водами России (1859–1891). Для рек выделяется работа северо-американских химиков Р. Доля (1913–1907) и Ф. Кларка, сумевших в относительно короткий срок собрать и обработать огромный материал. Уже в 1909 г. Доля имел в своем распоряжении более 2000 анализов, сделанных по определенному плану целым рядом прекрасных гидрохимиков (Ван Винкле и др.).



В.Г. Глушков (1883–1939)

¹ Необходимо здесь отметить долголетнюю работу на Кавказе, в Пятигорске и Тифлисе русских аналитиков (Фомин и др.), начиная с середины XIX столетия. Они собрали ряд точных фактов, но здесь не было той методологической работы, какая шла в Висбадене.

Центр работ находился и находится в Геологическом Комитете в Вашингтоне, во главе химической работы которого стоял Ф. Кларк, но она в широкой мере охватила все штаты, прежде всего в связи со стремлениями общественной гигиены: получения здоровой воды.

Но эта работа позволила поставить новые большие задачи и уточнить решение раньше поставленных благодаря чрезвычайно расширившемуся количеству достоверных анализов и особенно благодаря правильной методике выбора образцов для анализа.

Работа все продолжается, и сводка ее, вышедшая в 1923 г., дает возможность и видеть недочеты и выставить новые требования¹.

Очевидно, прежде всего она должна охватить всю биосферу, всю сушу.

В нашей стране выделяются – методологически – работы, широко задуманные, но прерванные войной, по исследованию рек Туркестана В.Г. Глушкова и К. Киселева (1910–1915).

По этим путям должна сейчас направиться и отчасти направляется, работа бесчисленных химиков в разных странах.

В частности у нас восстановление работ В. Глушкова в Туркестане и распространение тех же методов с необходимыми улучшениями на всю нашу страну – является одной из очередных задач и научной и практической жизни.

433. Изучение химического состава рек, в охвате Доля и Кларка, позволяет прежде всего количественно подойти к решению основных проблем в энергетике и динамике суши, которые были поставлены уже в XVII в. к вопросам о химическом и механическом сносе суши деятельностью рек и о создании морской воды.

Эти вопросы благодаря главным образом работе английских ученых получили количественные решения еще до начала работ Доля и Кларка. В частности Мёррей (1887) точно поставил вопросы и дал количественную их оценку на основании раньше бывшего материала. Новые данные Кларка (последний раз в 1924 г.) внесли серьезные поправки.

434. Уже Мёррей (Murray) поставил задачей количественно выразить средний химический (элементарный) состав речной воды. Эта задача была принята во внимание как основная Долем и Кларком. Их усилиями установлена необходимая для этого методика. К этому вопросу я вернусь ниже (§ 610 и сл.).

Средний состав речной воды должен быть постоянным, ибо он выражает неизменную в общем своем проявлении деятельность растворения в биосфере. Однако он отнюдь не выявляется так реально, как это выражается неизменным средним составом Океана. Постоянство солевого состава Океана неизбежно требует постоянства в геологическом времени речной (и метеорной) воды; но реально в разных местностях колебания состава речной воды являются несравненно большими, чем колебания воды океанической.

Все же *годовой состав воды реки* является величиной постоянной, для каждой из них характерной. Годовой состав всей совокупности речных вод есть важная планетная константа, в основных чертах установленная Кларком.

¹ Во всех исчислениях необходимо принять во внимание газы, оставленные без внимания американскими химиками, и внести соответствующую поправку. Необходимо расширить количество изучаемых элементов.

Кларк выяснил и постоянство среднего годового состава всех рек, совпадающее с составом большой реки, протекающей через большие пространства, климатически различные, и два типа речных вод, ясно выявляющихся в реках меньшей мощности (§ 611).

Сейчас ставится на очередь вопрос о постоянстве состава речных вод в историческое время, особенно в связи с изменением лика биосферы благодаря культурной жизни человечества.

Здесь сделано очень мало: практически научная задача не поставлена.

Не фиксирована она и в другом направлении – в значении рек для переноса органического вещества – создания жизни в биосфере. Богатые органическим веществом черные и бурые пресные реки давно отмечены как характерные черты географического ландшафта. Они преобладают в двух частях биосферы – в области тропических влажных местностей и в приполярных странах. Впервые встретился – вернее обратил на них внимание и отметил их в тропиках в 1541 г. Ф. де Ореллана, первый исследователь Амазонки, открывший Черную реку (Rio Negro), где своеобразие этих вод выражено исключительно резко; на общее значение этих темноводных рек тропиков обратил внимание впервые А. Гумбольдт через 250 лет позже. Они почти также мало химически исследованы сейчас, как были при Гумбольдте. Черные реки Севера, частью вблизи культурных стран, известны давно, но единственная большая работа (для Финляндских рек) О. Аскана (1896) (§ 476) остается без дальнейшего продолжения.

Химическое изучение вод этих рек ввиду их огромного геохимического значения настоятельно необходимо.

435. Во второй половине XIX в. сложилось изучение *озер*, главным образом пресных. В них сосредоточена почти половина, если не половина, пресной воды суши. Новая наука – лимнология – быстро развилась в связи с изучением явлений жизни и практических в связи с ней приложений. Можно отметить, что большую роль сыграла работа Ф. Фореля (Forel, 1841–1912), оригинального и глубокого швейцарского натуралиста, посвященная Женевскому озеру (1860, 1895–1901 – монография *Le Léman*). Он дал методику, руководящие идеи, поставил проблемы, быстро обратив на них внимание исследователей.

Исследование вод суши пошло организовано в полном контакте с работой в разных местах; темп работы увеличился в XX в. Новое, что было внесено, – это создание специальных стационарных станций, в которых на первое место выступило исследование явлений жизни в связи с изучением ее среды, т.е. изучение озера, его воды в первую очередь. Такая лимнологическая станция в пределах нашей страны была создана (Н. Зограф) впервые в 1891 г. на оз. Глубоком в Московском районе. К XX в. движение в этом направлении получило большое развитие, и в 1900 г. создана первая речная станция на Волге, в Саратове; позже – станции на соленых озерах. Сухопутные биологические станции стали исследовать поверхностные воды. Наряду с лимнологией создались аналогичные дисциплины (потамотология – наука о реках и т.д.).

Химическое изучение приобрело здесь огромное значение и привело к накоплению большого числа фактов как химических анализов воды, так и ее газового режима и количественного учета фауны и флоры.

К сожалению, полный учет истории озер сейчас не может быть сделан из-за отсутствия химических анализов их населения и количественного исчисления биогенной миграции химических элементов. В этом отношении заслуживает внимания организация изучения озер Висконсина (Берджем и Джюдай с 1911 г.), открывшая новые пути.

Изучение соленых озер – и озер рассольных – шло иным путем и выявляет другие очень интересные закономерности гидрохимии (§ 455).

436. Периодические изменения резко выступают в замкнутых бассейнах – в озерах, пресных и соленых. Под влиянием сезонных изменений не только меняется в последних концентрация раствора, но и его состав, так как разно выкристаллизовываются разные химические соединения, меняются отношения $K: Na, Ca : Na$ и т.п. Это выражено особенно резко для рассолов.

Для пресных озер, кроме сезонных, есть изменения, связанные с большими периодическими изменениями климата. Так, И.М. Крашенинников указывает для Челябинских озер изменение состава в связи с Брюкнеровскими 30-летними периодами.

Вероятно есть и более длительные изменения, как это начинает выясняться для почвенных растворов. Но эта область явления не изучена.

437. Новые количественные методы и искания непрерывно возникали, все усиливаясь, с середины XIX столетия.

Так, введение спектрального анализа выяснило в 1860-х годах окончательно всюдность и значение *следов* находящихся в природных водах элементов. Их значение начало еще раньше выясняться изучением минеральных вод химиками-бальнеологами и геологически было правильно учтено К. Бишофом. Теоретически это явление до сих пор далеко не осознано и систематически применялось к водам редко. Выделяются работы Бардэ (1914), приведшие, между прочим, к выяснению распространенности германия в минеральных водах.

438. Уточнение методов научной работы и распространение количественного изучения окружающей природы сказалось особенно ярко в последней четверти XIX столетия.

Оно привело к тому грандиозному построению нашего знания о Природе, какое в нашем веке выливается в переживаемом взрыве научного понимания окружающего, наблюдаемом в истории человечества лишь единично в тысячелетия.

Все стороны природных вод подверглись систематическому и глубокому научному количественному изучению.

В конце концов оно слилось в единую международную научную работу, организация которой далека от логического совершенства, но постепенно и в значительной мере бессознательно улучшается и укрепляется. Она идет в трех направлениях: во-первых, в установлении коллективной работы, сколь возможно меньше считаясь с политическими границами государств, во-вторых, в упрочнении и в выработке единой методики работы, в рамки которой входит вся индивидуальная и коллективная научная работа, и в-третьих, в организации – индивидуальной или коллективной – быстрого использования всякого вновь находимого, где бы то и как бы то ни было научного факта.

Этим путем независимо от гипотез растет наше эмпирическое знание. И прежде всего исследование гидросферы, главной части природной воды –

океанографическая работа. В результате такой научно организованной работы с каждым поколением быстро улучшается наше знание об Океане, хотя оно далеко от возможного максимума. Становится все более и более необходимой организация непрерывной систематической международной научно-исследовательской работы *над Океаном*. Она медленно, но складывается.

439. Вызвана она была потребностями жизни и инициативой крупных ученых.

Прежде всего она проявилась в области динамики Океана, в том значении, какое имеют для парусного мореплавания (и первоначального парового) морские течения.

А. Гумбольдт был первым, кажется, который в общей форме выявил значение морских течений для теплового режима тропосферы в области Атлантического океана и прилегающих частей суши – в частности резкого отличия восточных берегов Северной Америки и Гренландии и западных частей тех же широт Европы. Особое внимание обратили исследования английского моряка Э. Сабина (1821), его младшего современника, о связи климата Англии с ходом этих течений Гольфстрема. Становилось ясным, что для понимания погоды надо знать динамику Океана. Она же была необходима и для сокращения времени перехода судов между Европой и Америкой.

На фоне этого понимания, в 1850-х годах было произведено первое организованное международное изучение одного из океанов – Атлантического, – вызванное к жизни энергией, мыслью и инициативой одного человека, американского гидролога М.Ф. Мори (Maury, 1807–1871), работа которого и ее сводка «Physical geography of the Sea» (первое издание в 1855 г.) переведена была на ряд языков, в том числе и на русский (Физическая география моря, 1864). Мори, одно время бывший директором Вашингтонской морской обсерватории, добился своей цели – улучшить и сократить пути сообщений между Европой и Америкой, – выяснив характер морских течений и морских ветров. С 1849 по 1860 г. он издавал мореходный атлас, а в 1853 г. в Брюсселе по его инициативе созвано международное морское совещание, установившее общий план морских метеорологических наблюдений. В 1854 г. сотрудник Мори Брук улучшил лот (§ 416), положив этим начало точному измерению глубин океана, и в том же году Мори дал первую точную карту глубин – глубин Северного Атлантического океана.

440. Следующие широкие организации океанографической работы в конце концов связаны с исключительной по своим результатам английской экспедицией Челленджера (1872–1876). В ней до конца во главе дела стояли последовательно три выдающихся натуралиста – Уайвилль Томсон (Thomson, 1838–1872), Мозели (Moseley), Д. Мёррей (Murray, 1842–1914). Последствия этой экспедиции были огромны благодаря тому толчку в разработке методики работы, который был создан, и благодаря закончившейся уже в XX в. обработке ее превосходных коллекций.

Экспедиция Челленджера имела особое значение в изучении жизни моря, в истории биологических знаний, но огромно ее значение и в физике и химии Океана, главным образом по размаху поставленной задачи изучения всего Океана *как единого целого*. Главным ее результатом должно считаться подтверждение выводов Форхгаммера о постоянстве солевого остатка морской воды, изучение газового ее состава и выяснение твердых продуктов,

морских осадков, в которых принимают участие морская вода и населяющая ее жизнь.

Океан изучался на всем вертикальном протяжении – до дна от поверхности – на протяжении километров.

441. Эта экспедиция была результатом работы поколений. Впервые в Средиземном море Марсильи и Донати (1750) изучали – драгой – глубинные воды. Ирвин (1773) в экспедиции лорда Мергрэва (Murgrave) в арктических морях построил первый аппарат для взятия проб дна. Я уже указывал (§ 414, 416) на значение работ кругосветных путешествий и морских плаваний конца XVIII – начала XIX в. Эти работы в дальнейшем времени получили огромное развитие прежде всего с точки зрения биологической (ср. планктон – § 429) и организации научной работы.

После работ 1830-х годов Одуэна (Auduin) и Мильн Эдвардса и особенно Сарсов – отца и сына – начались в те же годы и в 1840-м – работы Э. Форбса, шотландского глубокого натуралиста, умершего в полном расцвете сил (1815–1854). Форбс впервые выявил закономерное распределение и смену морских живых форм – биоценозов – с глубиной и он же перенес навыки зоолога в изучение древних морей (1844–1854). Форбс разделял господствующие идеи, что жизнь не идет в морские глубины. В это время допускали еще (например, крупный натуралист Перон (начало XIX в.), участник кругосветных экспедиций), что морские глубины покрыты слоем льда. Форбс указывал прекращение жизни (нуль жизни) на небольшой глубине – в пределах 500–900 м, не считаясь с другими мнениями и не зная противоположных наблюдений, разбросанных в литературе.

Эти данные уже существовали за несколько десятков лет до Форбса. Экспедиции отца и сына Россов в океанах южного полушария доказали существование жизни на глубинах до 1000 м. Могут быть найдены в литературе и другие забытые работы, прежде всего работы Сарсов в Норвегии, не признававших вывода Форбса о безжизненности морских глубин. Ряд отдельных наблюдений подтвердили вывод Россов и Сарсов.

Из этих работ наибольшее значение имела английская «Lightninga» и «Porcupine» (1868–1870), проведенная под руководством Карпентера и Уайвилля Томсона. Исходя из данных и опыта этой экспедиции, Томсон явился инициатором экспедиции Челленджера и смог подобрать необходимый превосходный штат сотрудников.

442. Непрерывный ряд экспедиций идет за последние 60 лет по следам экспедиции Челленджера, но до сих пор ни одна из них не сравнима с ней по результатам. Но взятые вместе, они дали конечно результаты много большие и раздвинули вширь и вглубь наше знание о жизни и истории Океана и морей на всем протяжении от полюсов до тропиков. В это время улучшалась и техника работы, и шло ее уточнение и углубление. Может быть среди этих работ должны быть отмечены по их последствиям экспедиции А. Агассица «Тускарора» и «Альбатрос» (1877–1905) для тропических морей и князя А. Монако с 1854 г. (до 1920). Наряду с этими работами должны быть поставлены работы С.О. Макарова, слабо поддержанные русским правительством. Его кругосветное плавание на корабле «Витязь» 1886–1889 (описание вышло в 1894 г.) дало очень большие научные результаты; они всецело созданы его инициа-

тивной и энергией: для научных и гидрологических работ не было отпущено никаких средств и «снаряжений».

Отдельно надо отличить по ее значению экспедицию Шпиндлера и Н.И. Андрусова (1890 и сл.), открывших в Черном море не только новый вид морской воды подкласса – $N_2-CO_2-H_2S$, но и новое огромного значения природное явление – существование сероводородных морских и иловых вод. Мировая война 1914–1918 приостановила океанографические и научные работы.

После мировой войны эти работы возобновились в значительной мере под влиянием могущественных интересов практической жизни, но и чисто научные задачи были поставлены в широком масштабе.

Германия, Бельгия, Англия, Соединенные Штаты Америки, Голландия, Франция, Дания двинули исследование океанов. Работы Советского Союза сосредоточены – но расширяются – в прилегающих морях и лишь понемногу начинают выходить в океаны. Но эти экспедиции не могут сравниться – благодаря недостаточной экипировке – с современными океанографическими исследованиями, несмотря на прекрасный людской персонал. Ряд таких океанографических экспедиций, правильно и мощно оборудованных, как за последние годы, с 1928 г. – датская «Дана», немецкая «Метеор», английская «ДисCOVERи», американская «Карнеги», несомненно готовят почву для международной организации океанографических исследований, стоящих на очереди (§ 462).

Надо отметить, что экспедиции «Дана» и «Карнеги» установили факт огромного значения в газовом режиме океана – обеднения промежуточных по глубине слоев Тихого и Атлантического океанов подтропических широт свободным кислородом.

443. Большие научные океанографические экспедиции привели, во-первых, к улучшению техники научной работы, к чрезвычайному улучшению методики, а с другой стороны, – к созданию океанографических станций и музеев.

Об основных приборах и первых их изобретателях говорилось уже не раз (§ 416, 441). Здесь надо только указать на морские термометры, идея которых принадлежит Эме (§ 425) (1841–1843) и которые были усовершенствованы в связи с работами Мори (§ 439) механиками Негретти и Замбра в Лондоне, позже Рихтером и Визе в Берлине.

Огромный шаг вперед сделан был во время войны изобретением звукового батометра, созданного по идее К. Шидловского и Ланжевена. Это изобретение чрезвычайно усилило топографическую съемку морского дна.

Усовершенствование батометров для взятия проб озерных и морских илов, позволяющее изучить разрез больших столбов водных осадков, было сделано в последние годы Б. Перфильевым и резко изменило и улучшило методику изучения водных осадков.

Это главнейшее из достижений последнего времени – начало большого движения научной техники.

444. Большие океанографические экспедиции привели сами собой неизбежно к созданию океанографических музеев, станций и институтов и к росту начавшихся раньше и от них независимых морских и океанических био-

логических станций, изучающих жизнь моря в связи с его физикой, химией и гидрологией.

Экспедиция Челленджера – как драгоценный архив – сохранила свои сборы в Эдинбурге (Challenger Office), где с 1879 г. шла и идет их разработка. Экспедиции А. Агассица связаны с Museum of Comparative Zoology в Кембридже, в Массачусетсе (теперь при Гарвардском университете). Экспедиции А. Монако привели к созданию Океанографического института и музея в Монако и в Париже.

Среди морских биологических станций огромное значение имела станция в Неаполе с аквариумом, основанная в 1872 г. А. Дорном. В ней выработался тип этих станций, и в ней же впервые дана возможность широкому кругу лиц видеть морскую жизнь. Она имела в большой степени международный характер. Первая станция была основана раньше Лаказ-Дютье во Франции (Росков, 1871 г.). В 1871 же году создана биологическая станция в Севастополе по инициативе А. Ковалевского. В 1873 г. А. Агассиц основал первую станцию в Северной Америке в Пеникезе.

Станции сейчас охватывают все моря, работа их растет и расширяется и приобретает все большее значение. Они начинают специализироваться (§ 464).

В 1899 г. Н.М. Книпович построил первую плавучую морскую лабораторию на корабле «Андрей Первозванный». Сейчас непрерывно работает ряд таких лабораторий, развитие которых есть одна из очередных задач океанографии.

Почти одновременно создались пресноводные станции (§ 435).

445. Независимо от работ Челленджера, в 1878 г. француз Шлезинг (Schloesing, 1824–1919) в ярком и простом объяснении связал состав морской воды в летучих его частях – углекислоте и аммиаке – с составом тропосферы и открыл этим новые пути в понимании химии моря. Новые работы уточнили и изменили объяснения Шлезинга, но основное представление о коренной, теснейшей количественной химической связи газов тропосферы с химическим составом и с жизнью моря осталось незыблемым и является основой наших современных представлений.

446. Хуже обстояло дело с изучением химического состава иловой воды, значение которой в общей истории Океана было ярко установлено экспедицией «Челленджера», но химических данных об этих водах экспедиция не дала.

Основы современных представлений и путь, по которому здесь надо идти, были установлены независимо от работ ученых «Челленджера» и были даны не для океанов, а для озер и морей.

Несколько этапов могут быть отмечены.

Во-первых, уже в конце XVIII в. Леклерк Бюффон установил аналогию илов, а следовательно и проникающих их вод, с почвами и проникающими их водами. Это понимание только теперь входит в жизнь.

Илы и иловые воды обычно изучались как осадки, и особенности их состава пытались, в первом приближении, объяснить чисто химически в них идущими процессами. Среди работ этого типа можно отметить исследование морских грязей и их вод около Арнсбурга Гебелем А. (A. Goebel) в 1854 г.

Настоящий путь был указан в 1870-х годах оригинальными работами А.А. Вериги (1835–1905) в Одессе, изучавшего целебную грязь лиманов Черного моря. А.А. Вериги впервые указал на своеобразный биохимический процесс, который приводит к ее образованию, и на значение для ее свойств не только химических, но и коллоидальных процессов. Он впервые выяснил значение и особый характер органических азотистых соединений, здесь получающихся, – как сложных аминов, так и аммиака.

После долгого непонимания, идеи Вериги вошли в жизнь. Работы микробиологов выяснили еще в большей степени, чем думал Верига, значение микробов и связанного с их жизнью газового режима; надо отметить в этой области работы XX столетия – Б. Исаченко, Бейеринка и многих других.

Наконец, в результате производимого в этой книге анализа имеющихся данных выясняется резкая особенность илов и их вод в глубоких холодных областях океанических, морских и озерных бассейнов, связанная с неустойчивостью газообразной углекислоты (§ 463).

447. Со второй половины XIX столетия внимание химиков было обращено на выяснение того, в каком виде находятся в природной воде компоненты растворенных веществ и как следует их выражать в анализах.

Особое значение в выяснении этого явления имело развитие бальнеологии – главным образом, исследование минеральных источников.

Долгое время господствовало представление о их составе как о солях, комплексах, находящихся в воде, и результаты анализа выражали в форме разных солей, комбинируемых из результатов анализа.

Теоретическое обоснование такого эмпирического выражения анализов не могло быть найдено, и в виду чрезвычайного разнообразия приемов, выражения результатов анализов пытались внести искусственные правила, основанные на соглашениях. Здесь получили распространение и обратили особое внимание попытки Бунзена (1871) и Фрезениуса. Бунзен предлагал группировать ангидриды и основания в том порядке, в каком выделяются соли из свободно испаряющихся растворов при определенной (по соглашению) температуре. Фрезениус предложил соединять основания и ангидриды по их средству. Одно время выражение состава вод, выработанное Фрезениусом благодаря указанному раньше значению его лаборатории (§ 417), получило довольно большое распространение, но этот успех не мог быть прочен, так как в определении средства кислот и основания много было условного и неточного.

Реакция против представлений и Бунзена и Фрезениуса началась раньше, чем они были окончательно сформулированы (1870-е годы), – в 1860-х годах. Искали путей выражать химический состав ближе к данным анализа, не вводя в изображение состава тех гипотетических солей, которые различно строили Бунзен, Фрезениус и другие.

448. Новые представления сложились к 1860-м годам. Американский химик Г. Стирен (G. Stieren) в 1862 г. при изучении нефтяных буровых вод для ряда элементов – металлов, йода, брома, хлора и т.п. – вводил их как элементы, учитывая часть CO_2 как бикарбонат (теперь HCO_3). Почти одновременно, в 1864–1865 гг., венгерский химик А.К. Тан в Будапеште (Than, 1834–1908), видный аналитик, провел те же идеи последовательно для минеральных вод;

его лаборатория явилась центром нового течения, более эмпирического в представлениях о составе вод, чем теория Фрезениуса.

Основные трудности, которые существуют в толковании анализов воды, заключаются в неясности того положения, какое занимают в ней *атомы кислорода* и иногда водорода, связанные с другими химическими элементами и не улавливаемые в этой связи анализом. Анализ поставлен так, что кислород (и водород) воды непосредственно не определяется, и мы заключаем о присутствии его особых атомов на основании косвенных данных: состава тех солей, которые выделяются в конце концов из водных растворов, и тех окислов, в виде которых при анализе определяются химические элементы (§ 264, 346)¹.

Тан признал, что в воде не существуют те соединения или подобные им, которые выделяются при ее испарении или получаются при анализе, а находятся лишь химические эквиваленты, из которых можно построить при их соединении соли, например, для Na_2SO_4 он принимал в воде Na и SO_4 в соответственных количествах. Мы видим здесь, с одной стороны, чисто эмпирическое, точное представление об исследовании воды, отвечающее реальному факту: образованию солей из водных растворов, причем Тан не делал предположений о состоянии элементов солей в растворе, но лишь точно количественно определял наличие необходимых для построения солей группировок. Он, с одной стороны, отбросил образные представления о форме нахождения элементов в растворе; с другой, удержал, опираясь на старые идеи Берцелиуса, представление о дуалистическом строении солей.

В этом отношении выражение растворов Таном находилось в полном согласии с той еще не созданной в это время теорией, которая придала этим способам выражения реальность – с идеями Аррениуса (Arrhenius, 1859–1927) и Вант-Гоффа (Vant'Hoff, 1852–1911) о распадении солей при растворении на ионы, противоположно электрически заряженные.

449. Эти новые представления, вошедшие в научное сознание в 1880–1890-х годах, в основных чертах высказанные в 1884–1887 гг., имеют огромное значение в истории природных вод.

Ибо они не только дали удобные для научной работы модели – представления о форме, в какой находятся соли в водных растворах, но они прочно утвердили одно из основных, производимых водой в земной коре явлений.

В недавно изданных воспоминаниях об этом времени В. Оствальд, много сделавший для вхождения в научную мысль идей Аррениуса, правильно учитывает настроение, подготовившее почву для новой теории. Он вспоминает один из тезисов своей докторской диссертации в 1877 г., из которого можно было прийти к этой теории и которое ею было установлено. Он считал в 1877 г. возможным доказывать, что «вода разлагает все соли».

Это – старая идея. Ее можно проследить далеко вглубь химических лабораторий, за несколько столетий, может быть еще глубже, – и она же получила в природной химии Земли реальное значение в первой половине XIX в., когда вошли в жизнь представления Геттона (1785) и Плейфера, когда идеи фон Гоффа и Ляйеля о значении кумуляции мелких явлений в геологических

¹ Выработка методики прямого определения кислорода и здесь, как во всех основных проблемах геохимии, стоит сейчас на очереди.

процессах, т.е. понятие «геологического» времени, охватило сознание натуралистов. Корни представлений надо искать в лабораториях алхимиков в идеях о растворителе, растворяющем все тела.

Отголоском этих идей является и теория электролитической диссоциации раствора. Вода, образуя растворы, разлагает в конце концов все тела, все «соли» на части электрически заряженные – ионы, и эти ионы находятся в непрерывном движении в тех электрических полях, которые проникают водные растворы и создаются свойственными воде химическими силами при образовании раствора.

Наша мысль сейчас совершенно охвачена этими представлениями – и если в нее вносятся и будут внесены очень существенные изменения, то основное положение, ярко выраженное Оствальдом, представляется неизменным.

Осколки, ионы, на которые вода разлагает соли, растворяя их, тесно связаны с идеями Берцелиуса о строении солей начала XIX в.

Первые – простые – представления подверглись в дальнейшем коренному изменению, особенно ярко установленному для неводных растворов. Одним из основных изменений является допущение образования сольватов – соединений ионов с растворителем – для природных случаев ионов-гидратов. Эти представления, допущенные уже в 1890 г. Чиамичианом и Оствальдом, а в 1893 г. Вернером, в XX столетии получили широкую и прочную базу (ряд работ П.И. Вальдена и др.). Они сгладили различие новых взглядов с гидратной теорией Д.И. Менделеева, принимавшего с самого начала особенности пресных растворов, и перенесли в гидратную теорию центр тяжести представлений.

450. Как бы то ни было в области эмпирического исследования водных растворов – особенно пресных вод – ионная теория дала обоснования представлению Тана почти без изменений.

К 1890 г. этим путем условные осколки Тана получили реальное значение в виде существующих в воде положительных и отрицательных ионов.

Эмпирическое обобщение Тана получило теоретическое обоснование. Положительные и отрицательные ионы получили реальный смысл и явились основными компонентами раствора; природный раствор выявился как закономерное неоднородное равновесие, система, управляемая химическими и электрическими силами.

Значительно позже выдвинулось значение другой идеи Тана – *идеи эквивалентов* – о равновесии химически различных частей раствора и об их разных химических значениях и силе. Через 47 лет после выхода в свет работы Тана американский химик Ч. Пальмер (1911) придал этой стороне представлений Тана форму удобную для быстрого учета качеств воды, особенно тех, которые имеют практическое значение с точки зрения физико-химических ее свойств. Этот прием толкования анализов получил большое распространение под влиянием работ Геологического Комитета в Вашингтоне (Роджерса и др.) и в последнее время распространяется и в нашей стране (А. Уклонский, Н. Славянов).

Несомненно, он может иметь известное значение при решении некоторых практических проблем, главным образом, касающихся поверхностных вод, и в меньшей степени для суждений научного характера. Но пользоваться им надо осторожно, так как то новое, что он вносит по сравнению со старыми

способами описания, в значительной степени основано на недоказанных и явно упрощенных, не отвечающих сложной действительности, представлениях (§ 352).

451. В то самое время, когда Тан вырабатывал свою систему представления химического состава воды, в научном мышлении получало выявление другое понимание о растворе и его компонентах, ярко и глубоко развитое с 1865 г. Д.И. Менделеевым (1834–1907). Это – гидратная теория раствора, тесно связанная с представлением о сложном молекулярном строении самой воды. Соль, входя в раствор, химически соединяется с молекулами воды, давая гидрат, в воде которого она переходит в водную жидкость. В ней молекулы соли связаны с молекулами воды.

Эти идеи и основанное на них теоретическое представление о растворах долго стояли вне внимания большинства гидрохимиков.

Они не имели отражения в эмпирических идеях, начало которым было положено Таном, и находились в резком противоречии с получившими в конце XIX в. господство построениями Аррениуса.

Время, однако, показало, что в основе идей Менделеева лежит глубокое эмпирическое обобщение и что теория Аррениуса не охватывает огромного количества точно установленных фактов; стало ясно, что выражение анализов по методу Тана в его ионном или эквивалентном понимании не приложимо – без ненужных осложнений – к большим массам природных вод, особенно к водам рассольным и соленым.

452. Но и гидратная теория с той поправкой, которую вносят сольваты, – существование неводных растворов, – едва ли может объяснить не только явление растворов вообще, но и проявление их в природных водах.

Надо искать новой базы, опирающейся на категории фактов, которые не приняты во внимание в обоих представлениях.

По-видимому, мы сейчас подходим к этим представлениям, выходим на новый путь. Эти новые факты сейчас выявляются в рентгенограммах жидкостей, новом пути, по которому пошел в исследовании каучука голландский химик И. Катц в 1925 г. и пришел к общему вопросу о строении жидкостей (1927–1928). Неизбежным следствием этого продвижения вперед явится, как он и указывает (1928), новое представление о строении растворов.

453. Исследование *самосадочных озер и морских концентраторов* явилось опорным для гидратных представлений. Это исследование было вызвано практическими потребностями жизни.

Морские концентраторы – искусственные участки моря, отделенные, для выделения поваренной соли, и естественные участки моря, от него отделившиеся, – позволяют судить о закономерности изменения химического состава морской воды при ее концентрации, связанной с выпадением солей в твердом виде, определенного состава и в определенном количестве.

По указанию Малагучи (Malaguti, 1802–1870), молодой итальянский химик, вскоре умерший, Д. Узилио (Usiglio, 1849) произвел обстоятельное исследование химических изменений при сгущении свободным испарением морской воды Средиземного моря, которое, благодаря точности его работы сохранило значение до сих пор. Узилио установил порядок выделения химических соединений при испарении раствора в так называемом маточном растворе, остающемся после выпадения большей части хлористого натрия.

Эти работы легли в основание научного охвата процессов, постоянно происходящих при замирании частей морских бассейнов или целых морских водоемов. Обычно при этом последние стадии процесса, относительно незначительные по весу и по объему маточные растворы, не сохраняются в осадочных породах в виде твердого остатка.

Но один из относительно немногих особых случаев, оказавшийся, как мы теперь знаем, проявлением огромного процесса замирания Пермского моря в пределах нынешних государств ГДР, ФРГ, Голландии и Франции, был в 1850-х годах открыт бурением и дал начало добыче солей калия. Стассфурт, где впервые началась добыча калиевых солей на глубинах до 300 м, был тщательно и точно в течение долгих лет изучен минералогически, геохимически и геологически, и результаты работы сведены в 1864 г. (и вновь в 1875 г.) Ф. Бишофом.

Это исследование положило начало пониманию процессов замирания морских бассейнов и подтвердило, уточнив и расширив, порядок выделения солей, установленный в первом приближении Узилио.

454. Нельзя не заметить здесь, что путь, указанный Узилио для морских бассейнов и позже расширенный изучением рассольных озер (§ 455), требует сейчас широкого развития и для минеральных источников; это один из точнейших и сильнейших приемов проникновения в изучение истории природных вод.

Это стало возможным, после того как Вант-Гофф в долголетней работе с 1893 г., сперва один, а потом с рядом учеников [В. Мейергоффер (ум. 1906) и другие], применил в этой области явлений научный опыт и математическую обработку – приемы физической химии, науки, установившейся в конце XIX столетия.

Работа Вант-Гоффа дала к 1908 г. небывалую по точности картину сложного процесса равновесия, отдельные стадии которого наблюдаются в природе в виде соляных и рассольных воды соляных отложений. К сожалению, работа не была доведена до конца, но и в той форме, в какой она сейчас находится, она является единственным явлением в минералогии, связывая в одно целое (в одно равновесие) водные растворы – рассолы и твердые минералы, происходящие при их концентрации. Математически точно Вант-Гофф и его сотрудники выразили эти явления в виде поверхностей, изучение геометрии которых позволяет числом и мерой выразить парагенезис образующихся минералов и познать условия, для этого потребные.

Показан путь, по которому должна идти научная работа в изучении истории природных вод.

455. *Соляные и рассольные озера*, связанные с концентрацией морских вод, охватывают лишь одну часть озерных вод.

Ряд других соляных и самосадочных озер не связан с морем, а является результатом вековой концентрации вод в бессточных областях сухих образований, пустынь и полупустынь и химических (частью биохимических) реакций суши.

Для многих из них первоисточник соли тоже связан с морем, но не с морской водой непосредственно, а с иловой, может быть донной морской водой, прошедшей нередко долгие стадии метаморфизма.

Огромный, эмпирически точный химический материал собран в этой области, начиная с 1830–1840 гг. – с работ Гебеля, Абиha. Русские исследователи заняли здесь почетное место. Анализы К. Шмидта, Н. Федченко, А. Вериго в 60–80-х годах XIX в. и более новые работы И.А. Каблукова, Н.С. Курнакова и других дали прочную опору приложению здесь учения о равновесиях. Работы русских ученых нашего времени пошли глубже; при Академии наук СССР и на местах образовались центры работ, в которых физико-химическим анализом в новой его форме, созданной Н.С. Курнаковым и его школой (С.Ф. Жемчужный, Н.И. Степанов и др.), научное исследование природных вод получило возможность выявить новые стороны явлений и подойти к новым проблемам теории неоднородных физико-химических равновесий.

Начинают выясняться и здесь новые закономерности.

456. Тесно связанное с законами равновесий эмпирическое положение о постоянстве химического состава природных вод в определенных пределах колебаний их состава вошло в научное сознание в конце XIX – в начале XX в.

Оно никогда, однако, не было высказываемо в определенной и ясной общей форме и не было подвергнуто критическому рассмотрению и анализу.

В действительности оно лежит в основе нашего знания и в основе всей текущей научной работы. Из него, однако, не сделаны еще необходимые выводы.

Его можно выразить следующим образом: *химический состав каждой индивидуальной природной воды может быть выражен для каждого химического элемента в предельных минимальных и максимальных числах, которые не смещаются в короткий срок исторического времени. Выведенная в связи с этим средняя величина химического состава есть величина постоянная в пределах исторического времени.*

Это среднее может выдерживаться для данной воды и в течение геологического времени.

Существование известного, очень определенного, постоянства для океанической воды установлено очень давно (§ 416). Существует средняя величина, к которой приближаются большие пресные реки (§ 611). Каждая река, озеро, море имеет величину, очень мало изменчивую в течение исторического времени, кроме определенных случаев, которые указывают на реально совершающийся закономерный процесс изменения (§ 610, 611 и др.).

457. Для наиболее разнообразного семейства природных вод – для минеральных источников – вопрос о постоянстве их состава несколько раз подымался и решался независимо от раньше достигнутого решения в положительную сторону.

Впервые К. Бишоф в 1826 г. установил постоянство состава минеральных источников (в указанном понимании) для минеральных источников Таунуса в Германии; около того же времени это доказывал и И. Берцелиус (для Карлсбада).

Но в связи с ростом точности аналитических данных, те же вопросы были вновь подняты в 1880–1890 гг. А.А. Иностранцев (1882) констатировал это для Друскеник, в 1894 г. Р. Фрезениус отметил большую устойчивость состава для терм с более высокой температурой.

Это положение, как удовлетворяющее в общем огромному числу разнообразнейших наблюдений самых различных вод принято в этой работе и положено в основу изучения природных вод.

Только исходя из такого рассмотрения можно: 1) определять происходящие в отдельных случаях изменения состава и искать их объяснения, 2) выявлять вековые изменения состава, несомненно идущие в отдельных случаях (озера – § 274, 623), 3) устанавливать периодические колебания (§ 610).

Можно до известной степени видеть в этой книге попытку проверки этого положения, более 100 лет стоящего перед натуралистами.

458. В середине XIX в. вскрылись особенности *почвенных вод*, которые в начале обратили на себя внимание только одной своей стороной.

В 1850 г. английский химик, агроном Т. Уэ (Way) напечатал в Трудах Королевского земледельческого общества Англии мемуар, оказавший огромное влияние на научную и практическую земледельческую мысль. Он указал, что почвы обладают способностью менять состав протекающих через них растворов. Почва поглощает одни химические элементы из почвенного раствора и выделяет другие: она удерживает те, которые важны для питания растений.

Это открытие возбудило огромное внимание и явилось основой новых научных теорий плодородия. За много лет до Уэ, в 1836 г. на эти явления обращал внимание Броннер, в 1845 г. – Томпсон и Гекстабль (Huxtable, 1848). Наверное будут найдены и другие забытые наблюдения. Но все эти наблюдения были затеряны, не оказав влияния. В 1858 г. впервые Ю. Либих узнал об открытии Уэ и сделал ясным его значение.

Наблюдения Уэ и многочисленные работы, за ними последовавшие, указали на химическую активность почвы по отношению к соприкасающимся с ней растворам. И все же важнейшие выводы из этого явления по отношению к проникающим почвы водам были сделаны и поняты только через многие десятки лет после открытия Уэ – в XX веке.

Прошло долгое время, пока поняли сложность процесса и невозможность пользоваться теми простыми схемами, которые были в ходу в течение долгого времени в XIX веке.

459. Только сейчас мы начинаем выходить на торную дорогу. Проникающий почву водный раствор, основное условие существования наземной растительности, впервые в 20-х годах XX в. становится доступным нашему непосредственному изучению центрифугированием благодаря работам американских ученых, но главным образом А.Ф. Лебедева. Работы А.Ф. Лебедева показали, что этим путем выделяется только часть раствора – капельно-жидкая вода (§ 12).

Эти работы явились результатом долгих, неудачных и недостаточных попыток; сознательно вопрос о выделении почвенного раствора был поставлен в 1866 г. – вытеснением его жидкостями. Работы А.Ф. Лебедева являются решением задачи, поставленной Шлезингом.

Сложность явления выявилась после долголетней, в общем почти бесплодной, экспериментальной работы. Возможно «сухая» почва содержит волосную воду, а почва влажная, покрытая растительностью, представляет сложнейшую коллоидную и гигроскопическую систему равновесия, в которой водный раствор непрерывно меняется. Он меняется одновременно от

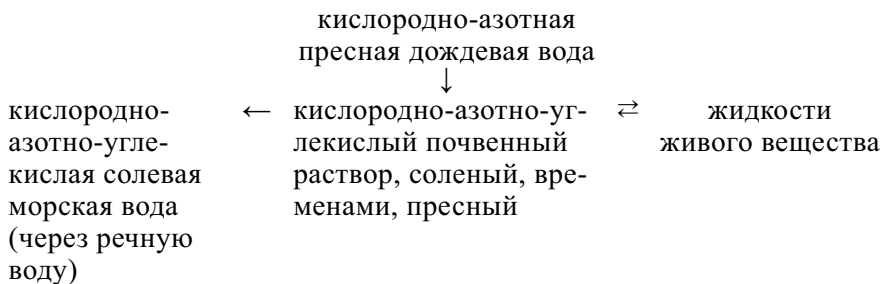
выпадения осадков, росы, внутренней росы – от изменения газов в связи с жизнедеятельностью проникающих и покрывающих почву организмов. Водные растворы, проникающие почву, переполнены микробами, грибами и животной жизнью; они непрерывно переходят во все подклассы, на которые мы делим природные воды, причем в большинстве случаев господствуют среди них воды соленые особого типа, богатые углекислотой, органическими веществами, нитратами и карбонатами. Работы русских ученых К.К. Гедройца, А.Г. Дояренко, А.Ф. Лебедева и их сотрудников подходят к разрешению общего вопроса о меняющемся составе этих вод, но пока мы количественно выразить состав этих вод можем лишь очень приблизительно.

Изучение почвенных растворов вскрывает в истории воды грандиозное явление, связывающее столь разные воды, как морскую, речную и дождевую.

Сплошной покров почвенных вод, различных для разных почв, есть область теснейшего взаимодействия

живое вещество \rightleftharpoons почвенная вода.

В общем схема происходящего здесь процесса и генетическая зависимость почвенных растворов может быть сейчас выражена следующим образом:



460. Эти почвенные растворы вырабатываются двумя формами энергии: с одной стороны, геохимической энергией живого вещества, с другой стороны, молекулярными силами – волосными, пленочными и т.п.

Это придает химии этих вод чрезвычайно своеобразный характер. Под влиянием вечно меняющейся жизни и не менее меняющихся молекулярных жидких, полужидких и твердых комплексов рыхлых масс вещества эти растворы и золи, их проникающие, находятся в вечном изменении.

Точное понятие о среднем их химическом составе и его периодическом, в связи с солнечным и жизненным циклом, изменении даст ближайшее будущее. А.Ф. Лебедевым (1928) дан сейчас точный метод выделения, а следовательно, и анализа этих вод, пользуясь центрифугой большой мощности. Правда, это касается одной только части этих вод – вод гравитационных, капельножидких (§ 12), но и такое частичное решение вопроса является огромным шагом вперед.

461. Представление о характере почвенных вод, выдвинутое А.Ф. Лебедевым, являющееся результатом долгой и оригинальной работы, получает сейчас огромное значение, выходящее за пределы почвенных растворов.

Сложившееся уже в 1913 г., оно получило в новом издании его книги (1930) глубокую переработку. Мне кажется, явления, к которым пришел А.Ф. Лебедев, выходят за пределы почвенных растворов и биосферы, как это он ясно видит и сам.

Они дают возможность выявить структуру всех подземных, глубинных вод. Та структура, которая принята и проводится в этой книге, основана на развитии идей А.Ф. Лебедева.

Исходные для них данные связаны, с одной стороны, с изучением влажности почв и вскрывшихся при этом законностей – с существованием подземной росы и значением подземных водяных паров в создании почвенной влаги (§ 484), и с другой, – с изучением передвижения почвенной влаги в связи с тепловыми эффектами в самой почве. Опираясь, с одной стороны, на эти свои исследования и на работы А. Митчерлиха (1901), а с другой – на работы физиков (в частности, Родевальда, 1900), А.Ф. Лебедев (1913) выявил строение почвенных и «грунтовых» (т.е. вод подземных, верховодок и напорных) вод.

В сущности он выявил основное динамическое равновесие:

природная вода \rightleftharpoons твердое тело

и связанную с этим структуру природных подземных вод (§ 12).

462. С XX столетия океанографические явления (§ 439) обратили на себя еще большее внимание, чем в предыдущем веке.

Открываются новые горизонты; биологическая и динамическая океанография – в связи с потребностями жизни – является таким центром изучения, каким она никогда не являлась раньше. Начинает все более получать значение и химия моря. В связи с этим выступают все в большей и большей степени международные организации как в решении определенной проблемы, так и в территориальных работах, ибо природные области не совпадают с политическими.

Первой международной организацией, возникшей в 1898–1901 гг. по инициативе Петтерсона, явилась организация для исследования северных морей – Международный Совет по исследованию северных морей, с центром в Копенгагене. Задачей Совета являются установление единообразных норм работы и решение проблем путем международных соглашений и предприятий. К сожалению, деятельность Совета для химии моря оказалась в одной части мало удовлетворительной. Определение солёности, широко введенное им в практику, связанное с затратами больших средств и большого труда, явно не удовлетворяет геохимическим требованиям, ибо под цифрами для *хлора* подразумевается сумма *галлоидов* (Cl + Br + J), и если йод может быть в ряде вопросов оставлен в стороне, количества брома так велики и, по-видимому, часто различны, что не могут быть оставляемы без учета. Так, создавшееся положение, по моему убеждению, вынесенному из изучения огромного материала, не позволяет сейчас подойти к решению важных черт химии моря и не отвечает той точности, с какой наука может и должна сейчас ставить свои задания. Эта методологическая ошибка, проявляющаяся и в других международных работах, должна быть возмозжно быстро исправлена. Должен быть выдвинут вопрос о полном анализе морской воды, поставленный сейчас определенно научно самим развитием геохимии.

В 1914 г. создается в связи с движением льдов и огромным экономическим значением Ньюфаундлендских мелей (Великой мели), уже в течение столетий связанных с несколькими государствами – сперва европейскими, теперь европейскими и американскими, – специальный международный Ice Patrol (Ледяной дозор), задачами которого прежде всего является изучение состояния плавающих льдов (ср. § 58), но эти задания особенно в последнее время расширяются в направлении общих океанографических исследований Атлантического океана.

В 1919 г. создается третье международное объединение для исследования Средиземного моря по инициативе А. Гримальди (князь А. Монако) с центром в Монако, в Океанографическом институте – Совет для исследования Средиземного моря.

В 1920 г. создается первая – слабая пока – международная организация, захватывающая и другие океаны, при Международном Геодезическом и Геофизическом союзе, – а еще позже океанография величайшего океана является предметом внимания Международного Тихоокеанского комитета.

Во всех этих организациях наша страна представлена чрезвычайно слабо, хотя по существу заинтересована во всех них; нигде нет ее постоянного участия. Оно проявлялось до 1917 г. в Копенгагенском объединении – сейчас сохранилась личная связь.

Восстановление этих связей и их укрепление является задачей дня.

На очередь стал после войны (1919) вопрос о возобновлении, если возможно в международном масштабе, большой океанической экспедиции, типа экспедиции Челленджера с учетом всего знания и всей техники, накопившихся с того времени. К сожалению, общие политические условия жизни англосаксонских стран не дали пока возможности осуществить эту очередную научную задачу. Особенно важно это сделать в международном масштабе и по определенной геохимической и гидрохимической программе; здесь выдвинуты и выдвигаются совсем новые проблемы большого значения. Так, почти не затронуто изучение донных и иловых вод океана и химический состав организмов, находящихся в постоянном химическом обмене с океанической водой во всех ее проявлениях – основной, донной и иловой.

463. Для изучения газового обмена международно согласованная работа дала уже важные результаты. Выяснена роль углекислоты – основная в химии и в биохимии морской воды. В общем обобщении Т. Шлезинга (§ 445) об океане как регуляторе углекислоты тропосферы и жизни, оказалось верным, но механизм во многом оказался иным, чем он предполагал. Среди работ в этом отношении выделяются по своему значению и своей точности работы шведа А. Крога (Krogh, 1910) и комитета по углекислоте в Гельсингфорсе, обработанные К. Бухом (1932).

Выяснилось новое значение углекислоты в создании щелочности моря в связи с образованием H_2CO_3 и ее ионным распадом (§ 740, 743).

Точно так же подтвердилось обобщение Эме (§ 425) о тропосфере как первоисточнике газов океана, идущих всегда в него сверху.

Одновременно те же потребности жизни – рыбного дела, главным образом, – выяснили с большой точностью, отчасти теми же методами, газовый режим наземных вод – соленых и пресных озер – во многом, особенно для углекислоты и сероводорода, своеобразный.

Сейчас стало возможным связать режим углекислоты в океане и на суше с общим явлением газового режима земной коры, – в частности газовыми под-земными атмосферами, что и делается в этом сочинении.

464. Внимание в XX в. все более и более направляется в сторону биологической и динамической океанографии. Остается пока в стороне геохимическое исследование океана.

Можно отметить два новых течения, с этим связанные.

Во-первых проникновение в океанографию математической физики (в широком ее охвате) – в работах Бьеркнеса-отца (Bjerknes, 1825–1903) в первую голову. В связи с этим весь вопрос о морских течениях (§ 439) пересматривается и выдвигаются новые проблемы. Биджеллоу (Bigelow, 1929) прав, подчеркивая значение больших вертикальных передвижений масс воды, во многом еще загадочных. Эти вертикальные движения приобретают огромное значение с точки зрения криосферы.

С точки зрения биологической океанографии выявляется новая методика, очевидно связанная с новыми проблемами. В этом отношении создаются изменения в организациях биологических морских и океанических станций. Открытый в 1908 г., находящийся в связи с Калифорнийским университетом в Беркли, Институт океанографии Скриппса в Ля-Джола в Калифорнии, на Тихом океане, систематически направляет часть своей работы на изучение химических вопросов (миграция кальция); на биологической станции на Мурманском побережье (основанной в 1900 г. по инициативе Н.П. Вагнера Петербургским обществом естествоиспытателей сперва на Соловецких островах в Белом море, энергией и инициативой К.М. Дерюгина перенесенной потом и блестяще поставленной на Мурмане в Александровске, теперь Полярном); в 1931 г. создается специальная лаборатория для обслуживания био-геохимических проблем (Вернадский и Виноградов)¹. Дальнейшее развитие этих новых направлений есть дело будущего.

464 а. Начали выясняться в XX в. явления, связанные с магматической водой, хотя и до сих пор наши знания в этой области очень незначительны. В основе лежат идеи, развитые в 1847 г. Эли де Бомоном (§ 422). Ш. Сан Клер Девиллем (Sainte Claire Deville 1814–1876). В 1856 г. Сан Клер Девилль дал классификацию газовых выделений вулканов Италии, причем он указал на преобладание среди них паров воды. Огромное количество воды, выделяющейся при вулканических извержениях, было известно давно, но воде этой придавали часто, можно сказать обычно, вторичное происхождение – связывали ее с атмосферной водой или же с морской водой. Количество ее в вулканических извержениях огромно: можно иметь о ней лишь приблизительное понятие из неполных наблюдений. Фуке (Fouque, 1828–1904) при извержении Этны определил для одного из паразитных кратеров массу водяных паров, выделившихся в 100 дней, равной $2,1 \cdot 10^6 \text{ т}^3$ – это очевидно ничтожная часть выделившихся в тот же промежуток времени всем вулканом. Каждое вулканическое извержение выбрасывает огромное количество водяных паров. Несомненно часть этих паров принадлежит биосфере, ибо вулканическое извержение вызывает огромное изменение в режиме водяных паров тропосферы,

¹ Биогеохимическая лаборатория Академии наук СССР в настоящее время (с 1947 г.) преобразована в Институт геохимии и аналитической химии имени Вернадского. – *Ред.*

вызывает дожди; часть связана с нагреванием пород земной поверхности и стратисферы и выделением в парах их капиллярной и капельножидкой воды, но часть несомненно идет снизу вне связи с биосферой.

Ввиду того, что А. Брен (1908) выдвинул теорию отсутствия этих первичных паров воды в вулканических газах, проникающих лаву в первые моменты ее выхода на земную поверхность, вопрос был решен непосредственно наблюдением Геофизической лаборатории Карнеги в Вашингтоне исследованием А. Дэя (Day) и Г. Шеферда (Shepherd) газов извержения Килауэа в 1912–1913 гг. Мысль Брена не подтвердилась. Позже эти наблюдения были подтверждены другими. Вода, однако, и при этом могла бы быть не вполне первичной – могла образовываться в более глубоких частях стратисферы.

Много больше 95% вулканических газов состоит по новым определениям из паров воды. Согласно принципам классификации, здесь принятой, *рассолевые* вулканические водяные пары не существуют: преобладают водяные пары *соленые*, но есть и *пресные* (§ 529).

Конечно, это вода сложного происхождения, если проследить вглубь ее историю, но она подымается из глубины с лавой и в лаве. Характерно, что огромная ее часть *кислая* – богата кислотами HCl, H₂S, HF, HBr, H₂CO₃ и т.д. в вулканах, в биосфере – H₂SO₄ (окислением H₂S). Сейчас выясняется, благодаря исследованию той же лаборатории [работы А. Дэя и Э. Аллена (Allen)] 1927 г., в Калифорнии существование другого типа вулканических паров, *щелочных*, богатых аммиаком, связанных не с лавами, но с гейзерами, перегретых. Они были открыты много раньше. Таковы знаменитые горячие соффионы Тосканы, впервые описанные Д. Тарджиони-Тоццетти (1742). Уже ученые конца XVIII в. выяснили главные черты их химического состава – в 1778 г. У. Гёфер (Höfer) открыл в них, в их парах, бор, до тех пор известный только из борных озер, а в 1779 г. П. Масканы – аммоний. Их химический характер был выяснен значительно позже, когда началась техническая их разработка в начале XIX столетия. Хотя работы Р. Назини и его сотрудников (1894–1930) выяснили многие основные черты их химической структуры, тип горячих паров «соффионы» стал ясным лишь в XX в. после выявления их американского аналога.

465. Фреатические и ювенильные горячие воды и водные пары, к сожалению, до сих пор не охвачены научной мыслью в той мере, в какой сейчас изучены рассольные воды и замиранья морских бассейнов. В учении о минеральных жилах, метаморфизме, контактовых явлениях выяснено огромное значение горячих вод и водных паров в тех продуктах, которые получаются при химических реакциях, в них происходящих, и уже к середине XIX в. в работах И. Брейтгаупта, К. Бишофа (§ 419), Эли де Бомона (§ 422), А. Добрэ и др. собрано огромное количество относящихся сюда данных. Они были сведены к началу XX в. в книге Ван Хайза (1904) о метаморфизме, в геохимии Кларка (§ 505) и т.п.

Но во всех этих работах характер самих вод не обращал на себя достаточно внимания.

Лишь в отдельных случаях можно отметить в этом отношении некоторые эмпирические достижения, открывающие путь к выявлению состава вод.

Выяснилось широкое распространение металлов в минеральных водах (§ 437), с одной стороны, а с другой – нахождение своеобразных вод, богатых H₂S и CO₂ – горячих водных паров или горячих вод.

Воды, богатые H_2S , выяснены работами исследователей рудных месторождений.

Исследования контактов дали точные указания о существовании в определенных участках земной коры водяных паров, богатых углекислотой – это кислые аналоги водных паров, богатых NH_3 (§ 467). Кислый их характер определяет их значение в создании минералов, обуславливает резкое химическое изменение ими стенок их месторождений. Их существование выяснено изучением минералов сухих трещин – минералов: Альпийского типа (I, § 113). Выяснение этого типа было достигнуто изучением минералов Альп и геологии горных цепей, с которыми они связаны, поколениями точных минералогов, среди которых видное место занимают многолетние работы Г. фон Рата с 1861 (Rath, 1830–1888), П. Грота, Г. Вейншенка. С 1911 г. И. Кенигсбергер подошел к этим явлениям с точки зрения физико-химической и с точным парагенетическим наблюдением. Альпийский тип минералов указывает на существование областей, где действует под давлением в тысячи атмосфер и при температуре в сотни градусов смесь газов H_2O-CO_2 .

466. Другой тип вод – пегматитовые (§ 294)–представляет уже переход в магмы, ближе к ним и тесно связан с литогенезом массивных пород плутонического типа.

Участие паров воды в этих процессах, сделавшееся ясным после (и под влиянием) работ Шеерера (§ 422), привело после исследования, длившегося больше столетия, к работам XX в., ставящим эти пневматолитические процессы, идущие в пределах $140^{\circ}-700^{\circ}$, на прочную почву физико-химических построений. Огромную роль сыграла здесь поколениями шедшая работа, главным образом, норвежских минералогов по исследованию южно-норвежских пегматитовых жил, получившая завершение в исследованиях К. Брёггера и его учеников (1887–1924). На основе этих работ получила значение и могла углубляться дальше огромная эмпирическая работа минералогического и геологического изучения пегматитовых образований. Нас здесь должно, главным образом, интересоваться, как на фоне этого изучения выявились роль воды и существование особых пневматолитических водных расплавов, переходящих в условиях создания пегматитов в гидротермальные процессы, бедные жидкой водой другого химического состава, чем водные термы минеральных жил и отвечающих им в верхней части земной коры минеральных источников.

Тесная связь пегматитов с гранитами, давно ясная и подчеркнутая Делессом (Delesse, 1853) неизбежно в 40–50-х годах выдвигала вопрос о роли воды. Ясно и определенно вопрос о значении воды стал к концу XIX в. (1880–1890 гг.) благодаря Брёггеру и М. Фохту, связавшим их образование с вновь выросшей в это время физической химией.

Сейчас здесь идет огромная работа, которая, однако, не выяснила пока характер самого водного тела, частично в связи с тем, что процесс идет под большими давлениями, частью в областях, превышающих критическую температурную точку воды и ее же точку, меняющую ее химический характер. Водные растворы здесь жидкие, главным образом газообразные.

Отмечу, что работы – помимо указанных лиц – А.Е. Ферсмана, П. Ниггли, А. Лакру, В. Шалера, В. Гольдшмидта и других ясно выявили, что мы имеем здесь резко отличные от водных растворов образования в тесной связи с теми

массивными породами, остаточный водный расплав которых составляют пегматиты (два главных типа гранитный и нефелино-сиенитовый).

467. Выявление скоплений богатых водою горячих газов получает особое значение благодаря тому, что, как показал в 1900 г. С. Аррениус, можно допустить, что пары воды или их растворы в алюмосиликатовой магме являются при высокой температуре и давлении сильной кислотой.

Это открытие Аррениуса имеет большое значение в теории петрогенеза и для объяснения химического строения выделяющихся в присутствии воды силикатов и алюмосиликатов.

Вода в термодинамических условиях биосферы тело амфотерное, скорее слабое основание, чем кислота, резко меняет свои свойства при повышении температуры, является химически новым, чуждым нашим обычным представлениям, телом. В магмах она должна играть роль кислоты и вытеснять SiO_2 и CO_2 из их солей.

Эти представления начинают получать значение в современном учении о химии магм и пегматитовых вод.

468. В начале XX в. в 1909 г. молодой, умерший в полном расцвете сил, австрийский минералог Ф. Корню восстановил из пыли забвения эмпирические обобщения И. Брейтгаупта (§ 423) и связал их с учением о коллоидах, достигшем в химии и в биохимии к этому времени значительного развития. Корню первый связал коллоидальные минералы, тела аморфные, с корой выветривания, с определенной геосферой и указал на чрезвычайное распространение и значение этих форм проявления воды.

Одновременно с разных сторон в историю воды проникли представления о коллоидных процессах и явлениях, связанных с частичными силами молекул воды – для почв и почвенных растворов (§ 459) – разным путем, приведшим к обобщениям А. Лебедева (§ 12, 461) и К. Гедройца, для природных минеральных источников, для природных вод вообще (§ 461). Значение этих явлений неуклонно все расширяется и углубляется в наших представлениях.

469. Изучение электропроводности и щелочности водных растворов и их природных разностей привело к новому методу познания их свойств и к большому углублению нашего понимания взаимоотношений между явлениями жизни и природной воды.

Еще в середине XIX в. Бибра (§ 416) указал на щелочность морской воды в отличие от кислого характера многих природных вод (например болотных) и нейтрального других, что было давно известно химикам. Но эти явления мало обращали на себя внимания. Лишь в конце XIX в. Кольрауш изучил электропроводность водных растворов и объяснил с точки зрения идей Аррениуса их химическую реакцию. В общем диссоциация на ионы H^{1+} и HO^{1-} довольно хорошо объясняет наблюдаемые явления, однако, отклонения между теорией и наблюдением значительны.

Их пытались объяснить (Льюис) особой активностью ионов, но для природных вод многое выясняется их газовым раствором – изменением, вносимым углекислотой (§ 241).

Определения количества ионов в морской воде начались в начале XX столетия (Рингер в 1908 г., кажется первый для Северного моря, – $5,8 \cdot 10^{-10}$ – $1,4 \cdot 10^{-9} \% \text{H}^{1+}$), и в то же время биологи (впервые Лёб в 1903 г.) отметили значение концентрации ионов H^{1+} для явлений жизни. Соренсен (1909) ввел в

употребление константу рН, и с тех пор – при улучшении и упрощении методики исследования – добыто огромное количество измерений самых разнообразных водных растворов – природных и искусственных, связанных и не связанных с организмами.

Перед нами открылась картина тонкой, глубоко проникающей в строение воды и живого организма организованности, регулируемой на первый взгляд ничтожным количеством заряженных ионов водорода или ионов гидроксила, находящихся в природных водных жидкостях.

Основным является *щелочность* океанической воды – неизменное количественно, все время сохраняющееся определенное, небольшое преобладание в ней ионов HO^{-} над ионами H^{+} , несмотря на бесчисленные химические реакции, в ней идущие и изменяющие ее ионизацию. Открылось чрезвычайно тонкое динамическое равновесие, чувствительнейшее строение, своеобразный механизм гидросферы.

Главная масса ионов водорода связана с распадом не молекул воды, а их соединения с углекислотой, неизбежно происходящего при растворении газообразной CO_2 , т.е. быстро разлагающегося в чистом виде, неизвестного тела H_2CO_3 . По крайней мере таково наиболее правдоподобное толкование этих явлений.

Области существования отдельных групп, видов и семейств организмов обуславливаются определенной величиной рН.

Она же имеет то же значение для почвенных растворов.

470. Точное математическое – количественное – определение ионов, в связи с их огромным значением в жизни моря и наземных вод дало прочную опору характерному для нашего времени убеждению в существовании в природных водах чрезвычайно тонкой структуры, далеко заходящей за пределы обычных химических количественных анализов. Эта тонкая структура в то же время проявляется в грандиозных геологических явлениях.

Очевидно, это явление ионизации не может быть единичным. В природной воде должны быть и иные, количественно ничтожные свойства, изучение которых должно отразиться на окружающей нас химии земной коры и должно открыть такие черты химии природной воды, которые сейчас от нас скрыты.

К этому приводит и чисто эмпирическое изучение некоторых природных вод, в которых человек по требованиям жизни приходит к чрезвычайному углублению в химическую структуру природной воды. Таковы новые стремления в бальнеологии, в изучении действия природных вод на здоровый и больной человеческий организм.

Минеральные воды явно представляются нам химически гораздо более сложными, чем это дают нам самые тщательные и полные химические анализы. Это в высшей степени подвижные закономерные динамические равновесия, находящиеся в вечном изменении как под влиянием окружающей их среды, так и их населения и их состава. Они меняются немедленно и чрезвычайно, изъяты из их обычного нахождения: лабораторное их изучение должно считаться с этой их изменчивостью. Должны быть найдены новые приемы и пути для их изучения и научно охвачены новые их свойства, сводимые к химическому научному учету.

471. Такое движение мысли действительно наблюдается сейчас в этой области явлений. Оно должно привести к новому, углубленному охвату при-

родных вод, который отразится и на познании их минералогии. В XX в. эти течения приобретают все большее и большее значение. Начинают изучаться различные физико-химические, радиологические, физиологические свойства вод самых разнообразных их подцарств. Может быть наиболее разнообразно изучаются минеральные воды (восходящие воды разных семейств) в виду их огромного лечебного значения.

Эти изучения приводят к очень важному выводу об огромном значении в этих водах коллоидных явлений – в форме чрезвычайно разведенных золь. Коллоидальная структура выясняет чрезвычайную чувствительность и индивидуальность свойств минеральных вод в их влиянии на явления жизни.

Уже в конце XIX века начались попытки доказать присутствие коллоидных компонентов в минеральных водах. Их значение было учтено одним из первых Ф. Гарригу (Garrigou); позже Лонтей (Lontey) в 1875 г. доказал их присутствие изучением анализа вод минеральных источников .

Но только в XX веке широкое проявление этих явлений было точно доказано и измерено. Среди новых работ обращают внимание работы В. Копачевского во Франции (1919 г. и след.).

Выявлены разные проявления коллоидной структуры вод – раньше всего путем изучения электропроводности вод, с значением которой мы уже встретились (§ 469) и которую изучал с точки зрения концентрации солевых компонентов минеральных источников уже в 1897 году Ленерт (Lehnert). Сейчас выясняется ясно количественно-индивидуальный характер этого признака, позволяющий резко отличать самые близкие минеральные воды и вероятно связанный с особенностями их химического и коллоидального состава, но для того, чтобы это видеть – необходимо определять свойства воды немедленно на месте (В. Копачевский, 1929).

На то же существование коллоидальной структуры минеральных вод, чрезвычайной ее сложности и чувствительности указывает количественное изучение электрокапиллярных их свойств, давшее в работах Копачевского интересные результаты.

Особенно для железа получают в этом освещении очень интересные данные, открывающие пути для новых представлений о строении вод (Баудиш и его школа).

Эти явления свойственны не только минеральным источникам.

472. *Коллоидные разведенные «растворы»* – воды, заключающие коллоиды, – господствуют в биосфере. Нам совершенно неизвестны те глубинные воды, богатые сернистыми или силикатовыми и алюмосиликатовыми компонентами, существование которых необходимо допускать в областях фреатической и ювенильной. Но, по-видимому, они ближе к коллоидным гелям и золям, чем к настоящим растворам.

Эти явления сейчас обращают наше внимание и должно быть приведут к неожиданному.

Становится важным обратить внимание на физическую и химическую структуру мицелл, которая сейчас выступает со все большей степенью значения в коллоидах живых организмов. С другой стороны – может быть в связи со строением мицелл – должны обратить на себя внимание электрические явления, связанные с золями и гелями.

Мы подходим здесь к явлениям, которые, может быть, должны будут в дальнейшем быть отделены от коллоидных проявлений и связаны не с ассоциациями элементов в большие группы, как это мы видим в явлениях коллоидов, а с разбитыми группами – с дальнейшим дроблением ионов, например с образованием единичных ионов железа взамен бывших раньше комплексных его ионов или мицелл его соединений. Так можно объяснять некоторые случаи старения железосодержащих фреатических или ювенильных вод. Если даже эти объяснения окажутся неверными, кажется несомненным, что одни обычные коллоидные процессы недостаточны для его понимания.

473. В тесной связи с выяснившимся коллоидальным характером минеральных вод стоит своеобразное применение к изучению структуры природных вод нового метода – изучения их влияния на организмы.

В сущности, вода и жизнь неразделимы, и весь уклад поверхностных вод планеты и в том числе главной массы воды – воды океанической – определяется жизнью. Это стало ясным по мере развития океанографических и лимнологических работ морских и пресноводных станций.

Вся бальнеология представляет тысячелетний опыт человечества – на самом себе изучения разной структуры вод. С XV в. этот опыт начинает получать более научный облик, и выясняется существование в структуре вод таких черт, которые не открываются иным путем в ней – ни химическим, ни физическим анализом.

Правда, эти достижения отражались на познании вод довольно туманно, но все же давно стало ясным, что живой организм, особенно больной, является столь чувствительным реагентом, что он позволяет видеть и измерять новые явления в той сложной организации, какой являются природные воды. Новые минералогические и геохимические явления несомненно этим путем выделяются, как, например, выделилось все семейство минеральных вод.

Сейчас в связи с уточнением диагностики болезней, приобретающей характер физико-химического лабораторного исследования и вхождения в медицину эксперимента, также построенного на физике и химии, значение этой формы исследования природных вод приобретает значение, имеющее, мне кажется, будущее и с геохимической и с минералогической точки зрения.

Кажется впервые в 1913 г. Д-р Бийяр (Billard) доказал на животных (морских свинках) охранительное влияние минеральных вод Руая (Royat) по отношению к анафилактическому удару. В результате началась новая методика экспериментального медицинского исследования минеральных вод, вскрывающая существование в них строений, исчезавших от нашего физико-химического анализа. В Пятигорске в 1926 г. началась в этом направлении работа школы И.П. Павлова над Кавказскими минеральными водами.

474. На этой же почве – терапевтической – началось в XX в. широкое изучение *радиоактивных свойств* природных вод. Нахождение в природных водах в источниках сперва радия и эманаций было сделано в 1902 г. независимо Селла и Поккетини в Италии и Д.Д. Томсоном в Англии. Лишь в 1904 г. Гимстедт установил присутствие эманаций, как основную причину радиоактивности большинства природных вод. Ввиду предположения о значении

радиоактивных компонентов для лечения и благодаря нахождению удобных и точных методов исследования, очень быстро собрано было много количественных данных, по радиоактивности минеральных и поверхностных вод и по количественному определению радона.

Гораздо меньше количественных данных для радия и совсем почти нет для тория и актиния.

Это – область знания, которая находится в последнее время в быстром развитии, и совершенно ясно, что здесь можно ожидать очень много неожиданного.

Совершенно ясно, что воды играют огромную роль в истории радиоактивных элементов, разделяя друг от друга создавшиеся при распаде элементы, например радий от урана и т.п.

Удивительным образом основное явление в радиологии – отношение между ураном и радием – только в самое последнее время обратило на себя внимание при исследовании вод. Уран был определен впервые качественно в морской воде ирландским ученым Д. Джоли в 1909 г., и в том же году профессор Ш. Лепьер, в Лиссабоне, определил его количественно в одном из минеральных источников Португалии. Но только через 20 лет, в 1929–1930 гг., проблема была вновь поставлена на очередь. Португальский ученый Г. Карвальо (H. Carvalho) рядом новых определений указал на несовпадение отношения U/Ra в минеральных водах с обычной величиной этой константы: очевидно идет разная миграция атомов U и Ra , изучение которой должно иметь большое значение для более точного познания минеральных вод.

Радий найден и в океанической воде; однако здесь мы стоим еще перед, неясной задачей, так как все указывает, что он быстро уменьшается в количестве по мере удаления от суши, и экспедиция Карнеги не могла открыть его в воде открытого океана. Возможно, что он поглощается живыми организмами, что было установлено для пресных вод работами нашей Биогеохимической лаборатории (1929).

В последние годы, особенно с 1929–1931 гг., вскрывается существование пластовых вод нефтяных месторождений, исключительно богатых радием (10^{-9} , может быть $10^{-80\%}$ – $10^{-100\%}$). Такие воды были открыты около Гейдельберга проф. Беккером в 1922 г. порядка $10^{-100\%}$ Ra , а позже воды с 10^{-9} и даже (?) $10^{-80\%}$ Ra (в Грозном В. Милиным и В. Тверцыным.)

Явления находятся в стадии изучения, и ряд исследований организован с 1930 г. Радиевым институтом в Ленинграде. Открывается новая область явлений, ставящая ряд пока неразгаданных интересных проблем. Пока можно лишь утверждать общность этого явления для соленых пластовых вод нефтяных месторождений. Одновременно выяснилось нахождение мезотория и ThX во всех этих водах, впервые установленное А.А. Черепенниковыми В.И. Барановым для вод Ухты. Начинает открываться новое большое природное явление.

475. Для подавляющего большинства вод, кроме морской воды и некоторых рассольных озерных вод, остается в стороне и не входит в жизнь тот минералогический и физико-химический метод, который связан с изучением их кристаллизации. Он дает – при углублении – возможность применить к изучению вод учение о физико-химических равновесиях.

Я указывал уже (§ 453) на то значение, какое имело в этом отношении изучение Узилио по указанию Малагучи испарения (и кристаллизации) морской воды.

По отношению к другим водам этот метод исследования применялся случайно, в единичных случаях.

Так, в 1902 г. мне и С.П. Попову удалось этим путем выяснить нахождение бора в сопочных водах, в 1910 году Г. Лейтмейер выявил (к сожалению не до конца) своеобразный характер минеральных вод из Рогича в Штирии, воды $O - Na - Mg - S - C$ (§ 74), приводящий к выделению водных карбонатов магния.

Несомненной представляется необходимость широкого и систематического применения этой методики исследования – особенно к минеральным водам и к водам пресным вообще.

Надо ждать, что здесь откроются перед нами очень тонкие и своеобразные черты их структуры, которые могут свободно быть охвачены количественно научной теорией.

476. Еще одно явление едва начинает привлекать внимание – изучение *жидких компонентов* (§ 203) главным образом, по-видимому, органических веществ.

Органические вещества минеральных вод в буквальном смысле слова terra incognita. Несмотря на их малые количества, значение их – бальнеологическое – может быть огромно. Оно должно быть огромно и в геохимическом эффекте.

В одной из последних речей (1871) великого ученого Роберта Майера находятся в этом смысле замечательные мысли, не получившие до сих пор движения в научной среде. Майер считал, что в органических определенных соединениях, частью улетающих с парами воды минеральных источников, заключается во многом, вероятно, разгадка их целительного действия. Их надо вспомнить в этом историческом наброске, так как возможно, что они указывают на путь будущего.

Количество жидких компонентов в поверхностных водах (например, черные реки тропиков или бурые воды приполярных стран) огромно, но химическая сторона едва затронута.

Работы 1906 г. финляндского химика О. Аскана (§ 434) – важные, хотя и недостаточные – не вызвали пока отклика: они единственные, которые дают нам понятие об одном частном случае.

Значение органических веществ в природных водах поднято и в связи с проявлениями жизни. Д. Боттомлей (1914) поднял вопрос об их необходимости для хлорофильных растений, Пюттер (1907) – для питания морских организмов. Это все пионеры в огромной, заброшенной научной мыслию, области важных явлений.

477. Есть одна область подземных вод, которая, несмотря на то, что имеет большое практическое значение, находится до сих пор в хаотическом состоянии, так как она не охвачена в нужной мере научной критической мыслью. Это те воды, которые в этой книге разделены на три подцарства – пластовых вод, подземных водоемов, восходящих вод; обычно первые два подцарства объединяются вместе, и к ним безразлично переносятся явления, установленные для одного из них, благодаря чему получается не отвечающая фак-

там картина явлений. Сюда относится огромная область вод, знакомство с которыми все усиливается, благодаря увеличению работы бурения. Как уже указывалось (§ 129 и сл.), здесь проявляется огромная работа человечества, меняющая установившийся ход явлений, идущих глубже биосферы – в *стратисфере*.

Основные представления в этой области были установлены несколько столетий тому назад. Галлий в конце XVII в. (§ 408–409) связал значительную часть этих вод с водами метеорными. Иное происхождение другой их части проникло в пауку в XIX столетии – компоненты, связанные с магмами, были научно установлены Шеерером и Эли де Бомоном (§ 422). Другие иногда более или менее фантастические, натурфилософские построения того же характера не прерывались в науке с XVI–XVII столетия. Значение геологически древней морской воды в их структуре было указано впервые, кажется, румынским геологом Мразеком, в связи с изучением буровых нефтяных вод Румынии, и затем развито американскими геологами. В этой книге вносится поправка на характер этой воды не как простой морской, а как метаморфизованной морской иловой воды (§ 696), и в то же время этот процесс выявляется как часть закономерного, непрерывно действующего механизма земной коры.

478. В 30-х годах XIX в. Р. д'Андримон в очень важном мемуаре, не сразу обратившем на себя внимание, но оказавшем в дальнейшем огромное влияние, указал на невозможность объяснить движение подземных вод, исходя из законов движения жидкостей (капельножидких), математически глубоко разработанных в начале XIX в. рядом выдающихся математиков и механиков. Он ввел понятие о пленочном строении вод водопроницаемых горизонтов и, введя таким образом новые поправки, позволил глубже применить математический анализ к этим явлениям.

Идея д'Андримона о существовании наряду с капельножидкой водой и водой волосных пространств воды пленочной имела огромное значение и в другой области – в почвенных растворах и привела в конце концов к обобщению А.Ф. Лебедева (§ 461), выяснившего основную структуру равновесия: твердые тела \rightleftharpoons природные растворы.

Она же позволила разрепать для заданий практической жизни ряд вопросов, связанных с *движением* подземных (пластовых) вод.

Это движение было открыто, изучалось эмпирически и по существу вошло в научное сознание в начале XIX в.; работы д'Андримона были одним из проявлений долгой многовековой работы.

Чрезвычайная медленность этих движений отличала эти воды от поверхностных вод, на изучение которых в течение многовековой инженерной работы и на физическом эксперименте, с этим связанном, выросла приложимая к этим водам гидравлика. Уже ученик Галилея Б. Кастелли (1628) свел и научно обработал практические достижения, главным образом, работы итальянских инженеров; Галилей и ряд крупных физиков, математиков, инженеров XVII–XIX вв. дали точную научную базу этой отрасли знания.

479. Раньше, чем было научно охвачено движение подземных вод, встал вопрос о их нахождении в тех случаях, когда они не имели стока на поверхность. Многотысячелетняя, в разной форме в разных странах была выработана своя эмпирическая техника. Накоплялись грубо эмпирические на-

блюдения, которые вместе с волшебной палочкой, употребление которой прослеживается на тысячелетия, позволяли своеобразным, богато одаренным искателям воды не случайно находить невидные глазу, глубоко лежащие верховодки и пластовые воды, вплоть до вод стратисферы. Волшебная палочка стала входить в признание геологов с конца XIX, особенно с XX столетия. В 1932 г. наблюдение Леманом (Lehmann) совпадения с ее указаниями характера теллурических электрических токов, как будто, открывает возможность дальнейших усовершенствований.

В начале XIX столетия основные черты векового опыта были сведены талантливым наблюдателем-эмпириком, искателем вод аббатом Парамелль; он первый уяснил связь подземных вод и, главным образом, верхних пластовых вод, верховодок – по терминологии этой книги, с морфологией земной поверхности, и, в частности, с распределением водных бассейнов поверхности суши. Речные системы могли быть связаны с медленнодвигающимися подземными пластовыми водами, причем, как это постепенно выяснилось, движения этих систем независимы друг от друга и подчиняются разным законам.

Создание точной геологии в первой четверти прошлого века, а вскоре – в половине XIX в. гидрогеологии – дало более прочные основы для выяснения распределения подземных вод.

Гидрогеология позволила работать в этой области с точностью недоступной вековой эмпирии.

480. Для глубоких напорных вод явились новые вопросы. Давление, с которым эти воды, а также самоизливающиеся источники подходят к земной поверхности, было правильно выяснено еще в XI столетии персидским ученым А.М.Р. Аль Бируни (973–1048), как давление гидростатическое. Но в современную научную мысль это понимание вошло в XVII в., после того как понятие о гидростатическом давлении жидкостей было точно установлено Стевином и, независимо, позже Паскалем (1651) и после того как Мариотт (1686) применил эти идеи к природным источникам. Однако лишь в XIX в. это объяснение получило реальное значение в понимании пластовых вод – после работ Герикар де Тюри (Hericart de Thury, 1776–1854), связавшего это физическое понятие с геологическим строением местности и выявившего основную методику геологической работы (1823).

481. Однако, как теперь ясно, основные представления как по отношению к верхним, так и по отношению к нижним пластовым водам, не могут быть отнесены ко всем подземным водам, которые достигаются человеком при помощи колодцев или бурением.

И хотя это далеко не сознается сейчас большинством геологов, в действительности, в историческом ходе научной работы этот факт может считаться установленным.

Прежде всего он установлен для вод, связанных с разведением, растворением легко – в порядке геологического времени – растворимых горных пород, например, известковых, соляных, гипсовых.

Здесь в конце концов ясно выявилось, что в этих областях нельзя говорить о водах сложной структуры пленчато-капельножидких, но можно и нужно считаться с такими же капельножидкими растворами, какие мы имеем на поверхности. Можно и должно считаться здесь с подземными лужами,

реками, озерами – многие из которых в таких местах, как Греция, наблюдались уже древними натуралистами.

В первые же годы XIX столетия, в эпоху создания новой геологии, вопросы денудации обратили на себя очень серьезное внимание. В конце концов выяснилась область *карстовых строений* земной коры и особый характер связанных с ними вод. В начале XX в. в точном синтезе сербского ученого Цвиича превосходно выяснены основные черты свойственной им геоморфологии. По отношению к водному режиму много сделано австрийским ученым Краусом и французом Мартелем.

Карстовые явления не единственная форма подземных вод. Другая (вероятно гораздо более мощная) обратила на себя внимание гораздо позже – это нахождение вод (иногда очень мощных) в водонепроницаемых породах массивных и кристаллически слоистых в доступных бурению частях биосферы и стратисферы. На значение этих вод обратили внимание давно, например в 20-х годах XIX в. Бекланд в Англии, но в понимание геологов ввел их А. Норденшюльд (1894) и независимо у нас И. Кобецкий (1895). Область этих явлений начинает охватываться научной работой только в последние годы. Это огромное явление в истории природных вод должно, мне кажется, быть отделено от вод пластовых, что и делается в этой книге.

Его изучение, и в частности химическое исследование этих вод, должно дать много нового.

482. Химия твердых и газообразных фаз воды и тех промежуточных, которыми являются ее гели (§ 150 и сл.) или ее формы – пленочные и волосные в минералах и горных породах, – гораздо менее обращала на себя внимание и находится в менее разработанном виде, чем химия жидких ее фаз.

Особенно далеко стоит от нашего теоретического понимания химия газообразных фаз природной воды, закономерных смесей паров воды, заключающих сторонние воде вещества, многие из которых находятся в парообразном состоянии только в присутствии паров воды. О малом понимании нами химического строения богатых водой газообразных масс высокой температуры и большого давления, я уже указывал раньше. Нам приходится пока принимать как факт такое состояние наших знаний для этих форм природной воды и учитывать его при описании явлений.

Для твердых минералов воды наши представления значительно подвинулись за последнее десятилетие, но и здесь успехи менее значительны, чем для других семейств химических соединений благодаря трудности применения для льдов самых могущественных наших методов исследования – оптических и рентгенологических.

Но здесь уже выясняется область исследования – естественные тела, подлежащие изучению, – чего нельзя утверждать для парообразных водных форм.

483. Мы уже видели то значение, какое приобрели атмосферные осадки и пары воды, из которых они сгущаются, в тех больших основных равновесиях воды биосферы, которые были в конце XVII в. ясно и определенно установлены Галлеем (§ 409).

Газообразный характер водных паров, их количественное определение, их географическое распределение в биосфере, первые законы, связанные с температурой и с барометрическим давлением были уже охвачены научной

мыслью к концу XVIII столетия. В это время эта область явлений – гигрометрия – была охвачена математическим анализом и первыми математически выраженными законами (Дальтон). Основным достижением с точки зрения истории природных вод явилось установление существования и огромной роли газообразной воды в атмосфере и ее отражение на всех процессах, идущих в биосфере. Это было создано огромным трудом и вошло в сознание в самом начале XIX столетия (в конце XVIII в.). В 1799 г. знаменитый химик и физик Д. Дальтон (§ 415) думал, что он первый доказал существование в воздухе газообразной воды, но уже во втором издании своих *Meteorological Observations* (1834) он признал независимое выяснение этого явления Делюком. Теперь мы видим, что за 30 слишком лет до Дальтона существование газообразной, невидной глазу воды в воздухе было уже ясно Де Руа (Le Roy, 1726–1779), французскому врачу и натуралисту. Ле Руа, брата женевацы Де люки (J.A. Deluc, 1727–1817, G.A. Deluc, 1729–1812), женевец Г. Де Соссюр (H.V. de Saussure, 1740–1799), англичане Дальтон и Даниель (Daniell, 1790–1845) независимо с разных сторон выяснили это основное, столь нам сейчас, самопонятное явление в истории природных вод и в окружающей природе – ведя наблюдение в живой природе, в лаборатории, изобретая приборы и подвергая опыт и наблюдение математическому анализу.

В сущности отдельные глубокие натуралисты XVII в., как О. Герике и Р. Бойль, ясно понимали это явление (§ 409). Но оно могло войти в научную мысль только после того, как понятие газа, газового состояния материи вошло в общее сознание. Это было достигнуто в конце XVIII столетия великими химиками и физиками – Блеком, Кавендишем, Пристлеем, Лавуазье, Шееле.

Научное понимание воздушных водяных паров как газа реально ввели в сознание Делюк и Дальтон.

Уже они сталкивались с явлением росы. Но раньше в 1751 г. Ле Руа, исходя из своих представлений, что вода «растворяется» в воздухе, как сахар в воде, положил начало современной теории росы, как выделению излишка насыщающей воздух воды благодаря местному охлаждению. Опыты Ле Руа были забыты, и их значение восстановил уже в конце XIX в. (1879) физик Жамен.

Через 60 лет после Ле Руа – уже в новом выражении явлений при понимании существования газообразной воды – основные черты учения о росе были в 1814 г. даны английским врачом В. Уэльсом (Wells, 1757–1817), наблюдавшим природу как в области подтропических (Флорида), так и умеренных стран. Уэльс установил рядом ясных и изящных опытов около Лондона, что выделение росы является следствием охлаждения предметов благодаря тепловому лучеиспусканию суши в тропосферу и положил этим основание пониманию явления. До него рассматривали росу как *причину* охлаждения. Опыты и выводы Уэльса были подтверждены многочисленными наблюдениями физиков, среди которых выдвигаются опыты итальянца М. Меллони в 1847–1848 гг. (Melloni, 1798–1864).

Из выявления росы, как следствия теплового лучеиспускания, неизбежно вытекает вопрос об источнике ее капельножидких масс. Одним из них является водяной пар воздуха, но другим должно признать выделяющиеся при охлаждении капли воды из окружающих предметов – ив первую голову из живых организмов, в том числе из растительных скоплений.

Значение с этой точки зрения организмов несомненно, но механизм процесса неясен. Может быть, здесь играют роль так называемые гигроскопические явления, значение которых установлено для выделения дождевых капель (§ 486,578) и для органогенных растворов.

Химия всех этих вод действительно заслуживает изучения; ее, можно сказать, нет.

484. Позже, уже в конце XIX – начале XX века, выявилось значение *подземной росы*, водяных паров, поднимающихся снизу. Этому явлению придавали большое значение в XVII столетии, например Декарт (§ 411), в том основном круговороте поверхностных вод, который был установлен Галлеем (§ 409). Через 160 лет после Декарта немецкий инженер О. Фольгер попытался в 1877 г. внозь доказать значение водяных паров, идущих из почвенных слоев и глубже. Одновременно, независимо хронологически, иногда позже (1870–1880) – началось изучение почвенной росы – паров почвенного и подземного воздуха – частью в связи с изучением механизма наземной росы – Айткен (Aitken) в Шотландии, частью в связи с влажностью почвы (русские исследователи – Головкинский, Измаильский и др.). В конце концов грандиозные схемы Фольгера оказались неверными, но явление почвенных и подземных паров получило большое значение. Решающую роль играли работы А.Ф. Лебедева над почвенным воздухом (1913–1928), приведшие его к выявлению структуры подземных вод (§ 461).

Роль водяных паров подземного воздуха осталась, однако, незатронутой.

Подземная роса и гигроскопичность подземного воздуха – невидимые пары воды, в нем находящиеся, – явления тесно связанные, но различные.

Влажность подземной тропосферы не изучена, как не изучена сама подземная тропосфера. Мы не знаем точно, как глубоко она идет в глубь земной коры и насколько мощным явлением она является.

Ее изучение в аспекте истории воды может принести много неожиданностей.

Неясны и явления подземного инея.

Подземная тропосфера самая верхняя из *подземных атмосфер*. Понятие подземных атмосфер и преобладание в них водяных паров впервые вводится в этом сочинении.

485. К концу XIX в. вошло в общее сознание научно правильное представление о строении *облаков и туманов*. Их научное изучение началось в XVIII в., но более точные данные могли быть получены лишь после того, как выяснилась закономерность – можно сказать индивидуальность – этих тел. Ясно уже подходил к классификации облаков и различению их форм в связи с вертикальным строением атмосферы знаменитый натуралист и философ природы Ламарк в своей упорной наблюдательной работе, совершенно непонятой современниками, работе, доставившей ему лишь насмешки и огорчения. Несомненно и в этой работе Ламарка – как и в некоторых других – было много неясного и ошибочного – глубокого непонимания наряду с еще более глубокими прозрениями, но он шел по новому пути и правильно указал (1801) на закономерность форм облаков в связи с погодой. Основы современной классификации облаков дал почти одновременно в 1803 г. англичанин квакер Л. Говард (Howard), положивший этим начало точному наблюдению новой области природы. Уже в это время выяснилась необходимость международ-

ной организации наблюдений погоды – в том числе и облаков, которая получила осуществление много позже, во второй половине XIX в. и которая становится на прочную научную почву только в нашем столетии.

Природа самих облаков выяснилась позже. Уже в XVIII в. велся спор о том, являются ли облака состоящими из жидких капель или из газовых пузырьков с жидкой оболочкой. В 1847 г. крупный английский физик Т. Стокс неопровержимо доказал строение облаков из капель *жидкой* (и твердой) воды, но лишь к концу века оно стало общепринятым. В 1895 г. П. Кулье указал, что для такого сжижения паров воды необходимо присутствие в воздухе сторонних теле тел – центров сжижения, которыми в конце концов оказались в значительной мере ионы и заряженные электрическими зарядами пылинки. Работы Кулье не сразу вошли в жизнь. Вся эта область явлений вошла в научное сознание и подверглась точному изучению лишь после работ шотландца Г. Айткена (H. Aitken) в 1880 и следующих годах.

Гидрохимические явления, связанные с этими гидрометеорами, меньше всего обратили на себя внимание (§ 574 сл). Здесь открывается новая огромная область работы – дело будущего.

486. Перед нами начинают вскрываться любопытные новые химические и физико-химические явления. С одной стороны, размеры этих капель могут быть так малы, что они не переходят в пар, неся электрические заряды (Д. Томсон). В них преобладают поверхностные силы над теми, которые проявляются в структуре обычной воды (§ 61). Затем в их состав входят гигроскопические вещества, резко меняющие их химические свойства. Кажется впервые в 1910 г. А. Вегенер указал на этот химический процесс, делающий возможность сгущения водяного пара в жидкость в условиях атмосферы. Наконец, они могут застывать в коллоидные шарики (в отсутствие гигроскопических веществ?), т.е. собрание мицелл, в которых на первое место выступают поверхностные силы кристаллов воды, малопроявляющиеся обычно в истории воды в земной коре.

Эти своеобразные и по морфологическому характеру и по химическому составу капли жидкой и шарики твердой воды, жидкая пыль, носящаяся среди газообразных масс воздуха, входят в системы, в которых они играют роль мицелл. Поэтому к этой области тучи туманов начинают с успехом применять законы коллоидных растворов и эмульсий – областей проявления поверхностных сил. Вскрывающиеся между аэрозолями и гидрозолями аналогии не только формального характера. Корни их в тождестве формы процессов. Одним из первых на характер аэрозолей указал И. Скворцов (1911).

487. Так как источником паров воды является ее *испарение*, то химический состав их сгущений – жидких масс – должен быть отнесен к пресным водам, бедным сторонними компонентами. Химические свойства этой жидкой пыли проявляются и другим путем – в легком, относительно, разрушении молекулы воды в аэрозолях, сопровождаемом интенсивным обменом энергии и созданием химически очень активных новых соединений.

Вероятно, в химии природных вод *реакции распада молекул воды* в воздушной среде так же, как и противоположные реакции их синтеза, идущие в атмосфере помимо тех явлений жизни (§ 325–326), которые тоже связаны с синтезом и с распадом воды, – играют очень большую роль. Сейчас невозможно учесть их значение: это настоятельная задача ближайшего

будущего. Нужно в связи с этим отметить этапы будущей работы, первые указания фактов, сюда относящихся. По-видимому, мы имеем здесь довольно резко выраженные явления равновесия: идет распадение молекулы H_2O на H_2 и O_2 – с одной стороны, а с другой – синтез H_2O из этих газов. Не исключена возможность связи этих процессов с образованием озона и особенно перекиси водорода, но это не может считаться точно установленным. Синтез воды из кислорода и водорода должен происходить в воздухе при действии таких разрядов электричества (в лаборатории установил М. Бертело, 1879) и радиевых солей (в лаборатории указал впервые Пикель – С. Pikel, 1904). Очень возможно, что в стратосфере эти реакции могут иметь значение, и в виду малого количества водорода в тропосфере возможно, что они имеют место при распадении молекул воды, сводя в значительной мере это распадение на замкнутый круговой процесс благодаря одновременному ходу обратного процесса. Это разложение идет под влиянием таких электрических разрядов (в лаборатории – Деерен и Макенн, 1881), ультрафиолетовых излучений (в лаборатории М. Кернбаум, 1911) и радиевых соединений (В. Рамзай, 1903).

Очень возможно, что мы имеем здесь указание на едва затронутое наукой, грандиозного значения геохимическое явление в истории нашей планеты (§ 61).

488. Все эти явления синтеза и распада молекул воды находятся в теснейшей связи с электрическими процессами атмосферы, которые помимо этого имеют и другие проявления, имеющие значение в гидрохимии природных вод.

Мы входим здесь в область малоизученных явлений ионизации.

Таким путем созданная ионизация атмосферы обуславливает электрические поля земли. Мы не знаем полностью химического состава ионов: по-видимому, газы воздуха сами могут давать ионы при этих условиях, но едва ли можно отрицать, что главная масса ионов так или иначе связана с плавающими распыленными молекулами воды. Однако мы до сих пор не знаем, в какой степени водные ионы преобладают в атмосфере над газовыми. Лишь в самое последнее время работы Д. Томсона и Нолана начинают вскрывать их значение (§ 61).

Но и другим путем – не заряженных водных капелек – электрическое поле земли вызывает в тучах – скоплениях этих капелек – мощные напряжения грозового электричества, приводящего к процессам распада молекул воды – к образованию озона и к мощным перемещениям энергии. Здесь в последнее время начинается новая эра работ, которая несомненно внесет много нового в историю природных вод.

489. Последняя подгруппа природных вод – *твердые их фазы* – снег и лед – медленно охватывалась научным знанием.

Ученые севера Европы, жители горных областей – в странах, где развилась современная научная мысль, – сталкивались с ними на каждом шагу в окружающей их природе, как с обыденным явлением.

Уже в первой половине XIII в. в Норвегии в ученой энциклопедии неизвестного автора, вероятно придворного капеллана, в «Королевском зеркале» на древненорвежском языке сведены в научном охвате любопытные эмпирические бытовые наблюдения в этой области.

Написанная на малодоступном языке книга оказала мало влияния на научную мысль средиземноморского научного центра.

В нем научное изучение твердых фаз воды как минеральных образований, исходя из той же бытовой обстановки, началось много позже и развивалось медленно.

Можно различить четыре или пять главных течений научной работы в этой области. Во-первых, объектом ее явились обыденные метеорологические явления, связанные с зимней природой нашего климата; во-вторых, области полярных морей и связанных с ними плавающих ледяных гор, горные области, покрытые вечным снегом и ледниками, вечно мерзлая почва континентов и, наконец, ледяные и снежные массы, покрывающие приполярную сушу и замерзшие моря.

Картина и грандиозность явления в целом выяснились в течение поколений от пробуждения в XVI веке научного отношения к окружающей природе до XIX века, когда систематическая научная работа охватила все явление в целом.

Вопросы минералогические и геологические выдвинулись поздно – чисто описательная, главным образом, географическая, частью метеорологическая и океанографическая сторона явлений долго обращала главное внимание.

Твердые фазы воды с точки зрения химии планеты в обоих их проявлениях – в минералогии и в геохимии – мало подверглись научной обработке. В течение веков, особенно в нашем столетии, собрался, однако, огромный материал, позволяющий сейчас иметь первую общую картину явления.

Собранный огромный, не систематизированный материал, однако, недостаточен, ибо он собирался под разным углом зрения; всюду видны пропуски и пустые места.

Особенно чувствуется недостаток правильно и полно проведенных химических анализов.

490. Все факты получились на фоне выявления основных больших физико-географических явлений, связанных с нахождением твердых фаз воды в биосфере. Эти находения часто столь обширны и разнообразны, что привели к созданию отдельных научных дисциплин. Попутно выяснялись и изучались некоторые стороны минералогии и геохимии снега и льда.

В самом начале XIX в. выявились основные черты природы тех областей, где царят лед и снег. В это время открыта Антарктика (в этом видную роль играли русские мореплаватели), с конца XVIII в. вновь узнана природа Гренландии, с начала XVIII в. началось научное изучение севера Сибири, с конца этого века и с начала XIX в. начались энергичные исследования севера Северной Америки. С конца XVIII в. началось неуклонное стремление достигнуть сперва северного полюса, в XX в. – южного. Задача эта достигнута работой и мыслью поколений. В 1909 г. американец Пири достиг северного полюса, в 1911–1912 (декабрь – январь – разница в днях) сперва норвежец Амундсен, потом англичанин Скотт достигли южного. В конце концов научно охвачена снежная и ледяная природа приполярных стран. В работах А. Добровольского (1924) впервые твердая фаза охвачена как закономерная часть строения земной коры, как криосфера (§ 58). Это представление ясно вытекает из данных минералогии воды, в этой книге излагаемых.

491. В тесной связи с этими исследованиями установлены были два явления, играющие большую роль в истории природных вод.

С одной стороны, выявлена научная картина ледяных плавающих гор (айсбергов), причина которой – связь с материковыми льдами – была правильно выяснена уже к середине XVIII столетия М.В. Ломоносовым. Исследования начала XIX в. – лорда Д. Росса, Окоресби и др. выявили основную черту явления – правильное, непрерывное вхождение их в океаны от приполярных стран, определили границы, до которых они достигают, и колебания в количестве льда. Росс старший открытием «Великого барьера» – огромной, малоподвижной массы льда и снега у Антарктики – вскрыл новое явление, редкое в нашу эпоху, характерное для ледниковых периодов (§ 58). Механизм движения ледяных гор был выяснен только в XX в. в своем значении главным образом Крюммелем. В Датской метеорологической обсерватории с конца XIX в. организована регистрация этих явлений для арктической области – для Атлантики.

492. Другим явилось констатирование огромных областей, занятых подпочвенной и почвенной мерзлотой, и новых явлений природы, с ней связанных.

С ними столкнулись русские землепроходцы в XVI–XVII столетиях, но в науке знание вечной мерзлоты связано с русскими государственными экспедициями в Сибирь – сперва Мессершмидта (1715) (опубликованы пленным шведским офицером Страленбергом, 1730), потом Гмелиным (1738–1741) в эпоху Великой Сибирской экспедиции.

Оно вошло во всем своем большом масштабе в науку много позже в XIX–XX вв. В начале XIX в. в первом русском кругосветном путешествии Горнер и Крузенштерн встретили вечно замерзшую почву в Азии и Америке, позже в экспедиции «Рюрика» натуралисты Шамиссо и Эйхгольц описали лед среди слоев почвы в Аляске; их наблюдения долго отрицались. Также с трудом и с возражениями проникли в научное сознание первые научные исследования вечной мерзлоты Сибири академика К.М. Бэра в 30-х и А.Ф. фон Миддендорфа в 40-х годах. Только после их работ существование этого явления в далеких от вечно-снежных полярных стран областях было признано. А сейчас оно открывается нам во всей своей мощности и вскрывается, частью как отголосок последнего оледенения Евразии и Северной Америки. Химически эта форма воды не изучена. Работы Бунге и Толля на присибирских островах в конце XIX столетия и русских ученых, инженеров и геологов в связи с проведением Сибирской железнодорожной магистрали – вскрыли новые явления природы, все значение которых в истории природных вод еще не учтено научной мыслью. В 1926 г. сводка М.И. Сумгина поставила этот вопрос в центр внимания, и с 1930 г. положено начало организации его систематического исследования при Академии наук СССР.

493. Основное решающее значение имело для познания природного льда создание гляциологии, науки о льде, и изучение оледенений суши, основанием которого явилось тщательное и точное изучение горных ледников, начатое в Альпах.

Сейчас можно проследить медленный, но непрерывный ход научной работы, приведший к одному из основных представлений в истории нашей планеты – к ледниковым периодам.

Изучение ледников Альп началось в конце XV и в XVI столетии, когда научная мысль обратилась к изучению окружающей природы. Уже в начале XVIII в. крупный местный натуралист Шейхцер (Scheuchzer, 1672–1733) дал сводку наших знаний, из которой мы сейчас видим, что в литературе были уже тогда довольно точные указания о влиянии глетчеров Альп, хотя очень немногие из ученых имели о них реальное понятие. О их движении уже знали. К концу XVIII в. эти знания увеличились и отдельные швейцарские ученые уже имели, хотя еще и неясное, представление о перемещении ледников (Бордые, 1773) и об их большом прежнем распространении. Благодаря работам Г. де Соссюра (de Saussure, 1740–1799) сведения о глетчерах вошли в научную мысль, и уже в 1802 г. И. Плейфер (Playfair, 1748–1819) впервые указал в них силу, более мощную, чем реки в производимой денудационной геологической работе. Плейфер имел – кажется, единственный из современников – ясное представление о значении этих явлений в общеземном масштабе. Лишь через десятки лет позже эти вопросы стали на очередь научной работы и коренным образом повлияли на наше научное миропредставление.

В 1820–1830-х г. началось то движение, которое привело к современным представлениям и к выяснению картины явления, причина которого до сих пор является еще неясной. И. Венетц (1788–1859) первый в 1821–1833 гг. положил им основу¹. Он доказал прежнее широкое развитие ледников за пределами их современного развития и ими объяснил широкое распространение валунов в Альпийской области и на севере Европы. Позже, в 30-х годах XIX в. уже под влиянием работ Венетца, начались работы И. Шарпантье (de Charpentier, 1786–1855) и Л. Агассица (1807–1873), которые были независимо обработаны и появились почти одновременно (1841) – «Essai sur les glaciers» Шарпантье и «Etudes sur les glaciers» Л. Агассица.

Вопрос о существовании ледникового периода был поставлен особенно ярко Агассицом, и новое представление, встретившее большие возражения и окончательно охватившее научную мысль в 70-х годах XIX в., сейчас же получило множество подтверждений и сторонников. Одновременно надо отметить двух исследователей, исходивших в значительной части из других данных. Один – ботаник К. Шимпер (Schimper, 1803–1867), в это время друг Агассица, пришедший к заключению (1837) из ботанических соображений о существовании периодически повторявшихся времен в истории Земли, благоприятных и неблагоприятных развитию растительности. Проявление того же явления он видел в периодах развития и отхода ледников. Он связал таким образом ход ледников с биологическими явлениями. Ему, по-видимому, принадлежит идея о ледниковом периоде в истории земли, совместно создавшаяся с Л. Агассицом и последним установленная. Другой был А. Бернгарди, не знавший о работах швейцарских гляциологов, но связавший *рассеянные* всюду в Европе и Америке *валуны* и сопровождающие породы с постепен-

¹ Еще раньше, в 1815 г., о более широком распространении ледников в Швейцарии сообщал в разговоре с Шарпантье местный охотник за сернами Ж. Перроден (Perroudin), очевидно, глубокий наблюдатель природы. Это любопытный, редко отмечаемый в литературе случай научных эмпирических обобщений, на которых строится вековое «народное знание». Всякий натуралист знает, какое значение имеют указания местных любителей – долголетних наблюдателей природы – в их работе в той стране, где идет экспедиционное исследование «наездом».

ным отходом арктических ледников, являющихся остатком некогда бывшего огромного оледенения Европы и Америки (1832).

В 1838–1848 гг. Ш. Мартен (1806–1889) установил огромное распространение ледников в прежнее время в Скандинавии и впервые выдвинул значение поддонной морены, покрывающей огромные площади материкового оледенения, в отличие от альпийского (1842). Впервые был захвачен – сперва бессознательно – тот центр, из которого исходил ледниковый покров послеплиоценового оледенения Европы – Фенноскандия.

494. В 50-х годах XIX в. был поставлен вопрос о существовании ледниковых явлений в другие геологические периоды: в 1855 г. А. Рамзай (Ramsay, 1813–1891) пытался доказать это для пермских отложений Англии, в 1856 г. В. Бланфорд (Wblanford, 1832–1893) – для Индии. Если наблюдения Рамзая встретили серьезные возражения, то Пермский ледниковый покров в Индии может считаться первым установленным случаем периодически повторяющихся ледниковых периодов (§ 65).

В 1866 г. в работах, не вошедших, как они заслуживали, в научное сознание, П.А. Кропоткин выявил широкое распространение явлений древнего оледенения на севере Азии, в Восточной Сибири. Эти наблюдения были подтверждены местными исследователями (Чекановский, Михаэлис), но эти и другие наблюдения были оставлены позднейшими исследователями в стороне.

Только недавно работы, главным образом, русских геологов в Сибири вновь возбудили внимание к идеям Кропоткина, и в 1930 г. сводка В.А. Обручева выявила вероятную грандиозность процесса, сразу сильно увеличивающего площадь оледенения северного полушария.

П.А. Кропоткин прервал свою работу над ледниковым периодом в самом начале, когда она развертывалась – в 70-х годах XIX в. Но работы его и Ф.Б. Шмидта (1869–1871) указали с несомненностью на Скандинавию как на страну, откуда двигался главный ледниковый покров в постплиоценовое время в нашей стране и вообще на Европейском материке. Почти одновременно блестящими наблюдениями О. Торреля (1872–1875) это было окончательно установлено.

В 70-х годах XIX в. в Южной Африке (Сутерланд, Е. Денн, 1870, 1873), позже в Бразилии и Австралии выявились остатки того же пермокарбонowego оледенения в Южном полушарии, которое было отмечено, как мы видели, в Индии. К концу века эти и разнообразные другие указания в разных странах привели к утверждению научного сознания о периодичности ледниковых периодов в течение геологического времени но их независимости от современной картины климатов.

С тех пор гляциология и, в частности, четвертичное время изучаются со все растущим успехом; к XX в. создался ряд организаций международного характера, которые еще более усилили значение этих знаний. Исследование Гренландии и Антарктики открывает все новые и новые черты явлений.

495. Несмотря на огромное внимание и на большую работу в области гляциологии мы еще не дошли до полного понимания значения пульсаций криосферы.

В период ее максимального расширения (ледниковый период) все равновесие водных масс во всей биосфере резко нарушается. Проявления этого

нарушения очень различны. Ярким примером являются связанные с образованием и таянием ледников колебания уровня Океана (Макларен, американский геолог, 1842). Эти идеи долго не обращали на себя внимания. В 1865 г. шотландский геолог, работавший вне высшей школы и научных организаций, Т. Джемисон (Jamieson) связал с таянием и с накоплением льда вековые движения суши – ее опускания под тяжестью ледников, ее поднятия при их исчезновении. Теоретические выводы и приложения к наблюдению в 1868 г. были развиты А. Тэйлором (Taylor) и др. Но лишь в XX столетии выяснилось все значение этих явлений. Американец Дэли (1922), независимо от Макларена, связал с великим плейстоценовым оледенением колебания уровня Всемирного океана – всей гидросферы. В. Рамзай (1924) – на примере Фенноскандии, с которой мы связаны, дал синтез работ вековых колебаний для суши и морей в связи с ходом оледенения.

Еще только выясняется значение жидких фаз воды в ледниковом периоде – при их зачинании, при их максимуме и при их замирании. П.А. Кропоткин (1869–1872) был один из первых, который указал на отражение этих оледенений в областях, захватываемых и освобождаемых ледником. Здесь развиваются своеобразные озерные пресноводные бассейны, нередко занимающие огромные площади (озерной период Кропоткина), и дают начало несуществующим ныне формам речных систем.

На другую сторону явления – на дождливые периоды в областях, прилегающих к ледниковым покровам, было обращено внимание позже. Впервые А. Пепк установил это для Средиземноморья в 1913 г. Почти одновременно, но позже африканские геологи обратили внимание (Шварц и др.) на широкое развитие озер и осадков в южном полушарии. В общем охвате выявил это явление для всей планеты Г. Симпсон (1930).

Значение этих исследований ледниковых периодов, привлечших внимание физиков, геологов, географов, для истории природных вод заключается в том, что оно позволило восстановить существование на нашей планете ледниковых периодов (учитывая и дождливые) даже в их частностях и выяснить те крупнейшие изменения, которые в них характерны для воды. В конце концов оно позволяет связать современную картину биосферы, в частном случае ее минералогии и геохимии, с последним ледниковым покровом, исчезнувшим геологически недавно в историческое время. Как я уже указывал, мы живем в эпоху его замирания (§ 29, 68 и сл.).

В истории природных вод влияние ледяных покровов отражается не только на наземных, но и на подземных водах, что устанавливается в этом сочинении.

Под влиянием охлаждения покрытых льдами областей суши термометрический градиент их медленно падает, массы холодных вод идут на большую глубину, например, около Верхних озер или вероятно у нас в Прибайкалье.

496. В настоящее время в обзоре минералогических и геохимических проблем, даже обсуждая их с чисто химической точки зрения, нельзя оставлять без внимания *кристаллографической структуры*. Силы кристаллические суть силы химические.

Наши знания по кристаллографии воды несмотря на огромную работу очень неполны.

Физические свойства снега и льда были для приполярных стран научно отмечены в основных чертах уже Скоресби в начале XIX столетия. Уже тогда Д. Брюстер дал первые кристалло-оптические исследования. Кристаллическая система была определена в общих чертах в XIX в. (А. Норденшёльд, 1860), но только сейчас при применении рентгенограмм были получены более точные цифры. И все же и до сих пор кристаллический класс воды и ее кристаллохимическое строение не могут считаться окончательно выясненными. Несомненно существование оси симметрии 3-го порядка, но отсутствие центра симметрии, не выявляемое в рентгенограммах, резко выражается в часто проявляющемся гемиморфизме¹. Существование или отсутствие центра симметрии в кристаллах льда имеет не только минералогический интерес; оно должно могущественно сказываться в электрических свойствах планеты, т.е. глубоким образом отражаться в истории природных вод.

Еще более крупное значение может иметь открытие полиморфизма льда Г. Гамманом (1900–1909). К нему, с другой стороны, давно уже подходили минералоги. Явление едва захвачено научной мыслью. Ясно, что новые разности нормально проявляются при очень высоком давлении: здесь существует лед с точкой плавления $+70^\circ$, т.е. лед «горячий». Как мы увидим, вероятно эти разности горячего льда существуют в земной коре в области волосных вод. Другие указания приводят к допущению временного существования других полиморфных разностей, не охваченных термодинамическим полем, изученным Тамманом. Явление едва начинает охватываться научной мыслью.

497. Если вопрос о полиморфности льда не играет сейчас для нас заметной роли в природных условиях, совсем иное значение представляет паразитическое разнообразие форм его кристаллизации. Из минералов, не говоря уже об искусственных соединениях, едва ли есть какой-нибудь, который мог бы быть поставлен наряду с ним. Может быть только кальцит дает аналогию. Но в то время как в кальците это разнообразие вызывается чрезвычайной отзывчивостью вещества на изменение окружающей среды в появлении множества новых простых форм² – в воде, в ее твердой фазе, это связано с необычайным разнообразием появления параллельных, а может быть двойниковых, сростаний немногих простых форм при изменении кристаллизационной среды. Таковы снежинки, которые нас окружают зимой и существуют непрерывно в приполярных странах и в области вечных снегов. Их форма не только геометрически постоянна и правильна – она явно закономерно меняется в зависимости от условий, скажем, погоды.

Это, в сущности, все, что мы знаем. И. Кеплер (Kepler, 1576–1630) в 1611 г. впервые указал на правильность явления. В его исканиях гармонии природы

¹ После того, как опыты Руайе и других показали, что фигуры вытравления энантиоморфного характера появляются на кристаллах, выделяющихся из растворов, заключающих энантиоморфные вещества, мыслимо, что и в случае гемиморфных форм веществ, принадлежащих к классам с центром симметрии, мы имеем аналогичное явление. Надо допустить в таком случае существование в тропосфере и в стратосфере неизвестных нам веществ, вызывающих гемиморфную (т.е. с полярными векторами в поверхностном слое) форму кристаллов льда, в своей внутренней сетке не имеющую таких векторов.

² Разнообразие комбинаций кристаллов кальцита не проявляется в наших опытах. Опыт дает исключительно немногие, обычно очень стойкие простые формы для CaCO_3 .

снежинки сыграли крупную роль. С тех пор скопился огромный эмпирический материал. Зарисованы, а потом сфотографированы многие тысячи снежинок – Д. Россетти (1681), В. Скоресби (Scoresby, 1789–1859), И. Глешером (1855), Шишерингом (1864), А. Норденшёльдом (1861 и сл.), Уотерсом (Waters, 1871), Гельманом (Hellman, 1893 и сл.), А. Добровольским (1903), В. Бентлей, Симпсоном и др. Глешер связал изучение формы снежинок с изучением элементов погоды; за ним пошли другие, систематически непрерывно вел такие наблюдения Бентлей в течение более 30 лет в Северной Америке.

Несмотря на огромную работу задача остается неразрешенной, но явление первостепенного значения перед нами открылось.

Можно, кажется, утверждать, что: 1) форма снежинок закономерно меняется и повторяется, указывая на определенные физико-химические условия их образования, 2) что ни температура, ни давление не являются факторами, ее обуславливающими.

Вероятно, надо искать причину в явлении, близком к гипотезе К. Аббе (1898). Разбирая наблюдения Бентлея, Аббе предположил – основываясь на данных кристаллографии – существование в среде кристаллизации снега примесей разных *газов*, влияющих на форму, но не входящих в состав снега. Мы сталкиваемся здесь с явлением большого значения в истории воды (§ 517), но совершенно почти не охваченном теорией и опытом: растворением «твердых» компонентов в газах. Такие явления – особенно при увеличении давления – существуют, но упускаются из виду и не охвачены в достаточной мере опытом и теорией.

Как пример можно привести растворение твердого йода в газообразной углекислоте.

При кристаллизации из паров воды эти растворенные компоненты могут не входить в состав снежинок, но должны влиять на ее кристаллическую форму.

Но возможна и другая причина: снежинка может образоваться из жидких капелек несомненно являющихся растворами.

Решит опыт.

Форма и характер снежинок должны дать понятие о распространении в тропосфере веществ, растворяющихся в воде и дающих определенные растворы, причем вещества эти влияют на векториальную энергию поверхностей многогранников, вызывая скульптуру и штриховку их граней и параллельные сростки и скелеты.

498. В твердом же виде представляется нашим органам чувств та вода, которая в форме «влажности», гигроскопической воды проникает все горные породы и все минералы суши – не говоря о морях – и является одной из важнейших и характернейших черт строения земного вещества, по крайней мере поверхностных областей планеты (§ 60).

Как уже раз указывалось, не исключена возможность, что одна из составных частей этой волосной воды – первый слой ее, облегающий твердую стороннюю среду, – есть реально особый лед.

Не видная глазу «пленчатая» или волосная вода твердых масс земной коры только сейчас входит в область научных изысканий, и надо думать, что мы подходим здесь к любопытнейшим проблемам.

Эти волосные растворы проявляются при анализе льда в виде растворенных в льде их компонентов, а при анализах других земных твердых тел в виде уходящих из них при нагревании молекул воды.

Мы имеем многочисленные, количественные определения растворителей таких растворов, но ошибочно выражаем их как химически чистую воду, при анализе относительно легко удаляемую из природного тела без его резкого изменения и разрушения.

В действительности мы имеем дело с проникновением во все твердое вещество планеты ее водных растворов, а не одного растворителя, пресных, соленых, рассольных.

Эти водные структуры находятся под огромным воздействием поверхностных сил твердого вещества.

В равновесии, которое всюду наблюдается в земной коре:

водные растворы \rightleftharpoons твердые тела,

(§ 12) в то время, как в подземных (почвенных, грунтовых, напорных) йодах преобладает или выступает на первое место водный раствор (§ 45) – здесь на первое место выступает твердое тело.

Сперва существование таких структур было указано для льда в конце прошлого века И. Беканеном (1887), и теория его развита Квинке (1908); позже выдвинуто значение этих явлений в общей форме для всего твердого земного вещества (Вернадский, 1928), здесь развиваемое.

Дело ближайшего будущего дать нужный экспериментальный материал.

Структура равновесия: природные растворы \rightleftharpoons твердые тела, выясненная в последнее время А.Ф. Лебедевым для почвенных и грунтовых вод, должна здесь получить новую форму.

499. Новое понимание должна получить и *вода* микроскопически мелких включений. Эта вода находится под большим давлением, в определенных случаях достигающем порядка многих десятков атмосфер, так как содержавшаяся в воде CO_2 превращается в жидкое состояние (при обычной температуре около 36 атм давления). Такое объяснение старых наблюдений Д. Брюстера (§ 423) было дано в 1858 г. Р. Зимлером (1833–1874), но только в 1869 г. Гейслер и Фогельзанг это доказали, а в 1882 г. Ф. Райт (Wright) дал точные числа. Открылся факт огромного значения. Равновесие:

природные воды, раствор $\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2$ газ (пары воды)

переходит в равновесие:

жидкая $\text{CO}_2 \rightleftharpoons$ природные воды, бедные CO_2 .

Выводы из этих явлений не сделаны, и за последние 50–70 лет здесь наблюдается полный застой. Необходима энергичная работа в направлении, впервые ясно указанном Г. Сорби (1869) (§ 423) на фоне изучения волосной воды твердого земного вещества.

500. В XIX–XX вв. вновь получают первые достижения в научной и точной форме дальнейшего расширения тех проблем, которые в XVII–XVIII вв. привели к великому обобщению – к равновесию Галлея, связавшему поверхностные воды суши, метеорные воды, океан, реки, верховодки в единое целое (§ 409).

К этому галлеевскому основному равновесию, связывающему все наземные поверхностные воды – воды тропосферы, гидросферы и суши, – приемыкает обобщение, сделанное через 200 лет А.Ф. Лебедевым в той форме, в какой оно проводится в этом сочинении. Оно связывает с биосферой и с равновесием Галлея воды стратисферы и ниже ее лежащих геосфер.

И, наконец, к этому надо прибавить третье равновесие, вводимое в этом сочинении, которое связывает гидросферу, ее иловую воду в первую очередь, с водами стратисферы.

Вместе взятые эти три равновесия дают возможность точно разбираться в основных чертах круговорота воды на нашей планете.

Мы сейчас еще не можем идти с той же точностью дальше и связать стратисферу и ниже ее лежащие геосферы в истории воды друг с другом. Здесь у нас сейчас отсутствуют те данные, какие имеются для вод биосферы и которые позволяют построения точных равновесий.

Выявление их количественных соотношений задача будущего.

Однако на этот путь уже сейчас вступила научная мысль для равновесия Галлея.

В этом направлении надо здесь упомянуть работы А.И. Воейкова. В 1905 г. Э. Брюкнер установил как первое приближение «круговорот воды» на поверхности планеты – по существу пересмотренное на основании почти двухсотлетней работы равновесие Галлея. С тех пор этот вопрос не сходит с поля научного зрения и быстро уточняется. Точного баланса мы, однако, не имеем.

501. В середине XIX в. более реально выступил вопрос о взаимоотношении вод биосферы и глубинных, существование которых, как уже указывал (§ 411), было ясно с конца XVII – начала XVIII в. и своеобразный характер которых давно обратил на себя внимание исследователей рудных месторождений и минеральных вод (§ 421).

В связи с изучением рудных месторождений в вертикальном разрезе Ф. Пошепный выделил три вертикально сменяющихся области этих вод – вадозные, фреатические и ювенильные – уже в 1867 г., но лишь в самом конце века, после переработки его идей в 1893 г. в сочинении *Genesis of ore deposits* и особенно в начале XX в. (1902), после того как Э. Зюсс применил эти идеи к генезису минеральных источников, они вошли в научное сознание. Вся эта область явлений не охвачена количественным учетом. Количественно явление не связано с равновесием Галлея.

502. Очевидно, все природные воды и отвечающие им пары и льды являются продуктом геологических процессов, и ввиду огромного значения изучаемой группы минералов и по разнообразию и по массе в земной коре наши о ней представления коренным образом могут меняться и меняются в ходе и смене геологических воззрений.

Среди представлений, сейчас находящихся в обсуждении, надо остановиться на двух, имеющих огромное значение в истории природных вод.

Во-первых, на вопросе об изменении нашей планеты во времени (§ 26 и сл.) и, во-вторых, на вопросе о диссимметрии в ее строении (§ 74 и сл.). Оба эти явления тесно связаны, и они указывают, что та форма организованности планеты, которая вскрывается при изучении истории природных вод и которая является предметом изложения в данной книге, есть геологически

постоянное явление, почти неизменное и может быть в среднем неизменное в течение всего геологического времени. Представление о том, что за все геологическое время условия планеты были близки к современным, выросло эмпирически. Впервые оно было сформулировано как общее положение в конце XVIII в. (1788) Гёттоном и развито Плейфером¹. Оно глубоко вошло в сознание благодаря многократной переработке и проверке этого эмпирического положения сперва К.Э. фон Гоффом (von Hoff, 1771–1837), потом независимо Ч. Ляйелем (Lyell, 1797–1875) на огромном фактическом материале в ряде изданий курсов геологии, влиявших на научную мысль в течение десятков лет (1830–1884). Вскоре же, уже в 30–50-х годах XIX в. представления иного порядка о временных пароксизмах в истории земли, связанных с катастрофическими изменениями биосферы, выросшие на почве частью религиозных, частью философских представлений, замерли.

Уже Гёттон (1799) ясно сознавал, что на фоне условий, близких к современным, были длительные периоды, когда резко – как бы ритмически – менялся темп геологических процессов, наиболее ярко выражавшийся в горообразовательных процессах, но эта важная поправка, ясная Гёттону – Плейферу (1788–1802), совершенно исчезла из научного сознания геологов девятнадцатого века, противников катастрофических теорий. Для орогенических процессов ее ярко ставил – на неверных посылах – Эли де Бомон в 30–40-х годах XIX в. В его идее было здоровое эмпирическое основание, и к концу века и в XX в. она возродилась вновь и приняла ясную, опирающуюся на факты форму после того, как синтез Э. Зюсса, его *Antlitz der Erde* (1882–1906), охватил геологическую мысль. Сейчас эти идеи перерастают ту оценку, которая вытекала из построений Зюсса. Исходя из него выявилась идея *диастрофизма* американских геологов (Джильберт и др.) – периодов усиленных орогенических движений, тесно связанных с усиленными изменениями самых разнообразных геологических процессов – в том числе явлений жизни (Амалицкий, 1896, Соболев, 1914–1924), ледниковых явлений (Рамзай, 1910). Особое значение эти идеи получили после работ Д. Джоли (1909–1924), связавших их с характером распределения радиоактивной энергии планеты. В истории природных вод необходимо постоянно иметь это в виду – и, в частности, учитывать, что современная история природных вод отвечает лишь одной из стадий спадающего ритма геологических явлений. Надо отметить, что вся эмпирическая основа этих больших критических периодов в истории планеты совершенно независима от построений Джоли и останется незабываемой, если даже теоретическое построение Джоли окажется неверным или недостаточным. Очень возможно, что радиоактивный распад материала земли есть не главный и единственный, а один из факторов наблюдаемого ритма.

503. Идея диссимметрии строения земной коры (§ 74 и сл.), т.е. постоянство материков и суши, тесно связана с постоянством механизма земной коры в течение геологического времени.

Идея о диссимметрии была впервые высказана на основе эмпирических построений американским геологом Д.Д. Дэна в 1846 г., развита им позже в

¹ Эта идея нередко очень ясно сознавалась отдельными натуралистами с XVI столетия. Она была ясна Леонардо да Винчи (ум. 1519) и Б. Палисси (ум. 1589). Гёттон и Плейфер ввели ее в научное понимание как определенно высказанное эмпирическое обобщение.

ряде работ и медленно охватывала научную мысль. Сейчас это представление, очень обычное среди североамериканских геологов, служит предметом широкого обсуждения.

Его значение для истории природных вод огромно, и при оценке его с этой точки зрения вскрываются новые черты, могущие быть использованы при его проверке.

Дэна сознавал совершенно ясно, что в диссимметричном распределении суши и океана, впервые *географически* выявленном в конце XVIII столетия (§ 78) Кларе де Флерье, выявляется основная, исконная черта *геологической* истории планеты. Возможность подойти научно к причине возникновения диссимметрии возникла только через десятки лет позже, в 1877–1879 гг., когда Г. Дарвин выявил геологическое и космогоническое значение приливов и отливов, гравитационных движений жидких и полужидких масс на твердых планетных массах¹, а американский астроном Пиккеринг (Pickering, 1907–1924) связал образование диссимметрии нашей планеты с образованием из нее Луны – в связи с этими процессами и проявления его в первичной океанической впадине (Тихий океан).

Проверка следствий из этой гипотезы стоит на очереди дня.

С ней связан вопрос о генезисе биосферы (Вернадский, 1931).

504. Еще несколько слов об истории того большого явления, которое все резче вторгается в долго неподвижную историю природных вод, мной отмечается во всем дальнейшем изложении, но сколько-нибудь в нем подробно не развивается (§ 129 и сл., 368).

Сознание огромного значения в природных процессах человека – цивилизованного человечества – было выдвинуто в конце XVIII в. Бюффоном в 1780 г. в его «Eroques de la Nature». Он отвел ему отдельную, свою седьмую, эпоху. Мы возвращаемся сейчас к этим воззрениям; крупные геологи XX в. Шухерт в Америке и А.П. Павлов в Европе отделяют время создания больших культур как грань новой геологической эры – психозойской эры Шухерта, эры Homo Sapiens Павлова.

Изучение истории природных вод сейчас может идти только в рамках этих идей; необходимо на каждом шагу вносить поправку в научные представления, построенные безотносительно к деятельности человека.

505. Новый огромный сдвиг совершается в истории природных вод с охватом их новой наукой – геохимией. Впервые уже в XX в. (1908–1924) Ф. Кларк в своей книге «Data of geochemistry», дал обработку огромного материала с новой точки зрения, продолжая работу Бишофа и Рота (§ 419).

Автор идет по тому же пути, по-иному, правда, определяя задачи геохимии. Одновременно эта книга опирается на новые геологические представления о строении земной коры, чего не делал Кларк. Природные воды рассматриваются как часть организованности планеты.

Во время моей работы над этой книгой мной выяснилось, что на этот последний путь уже в 1908 г. вступил В. Мак-Ги (Мак Гее), давший сжатое, но яркое изложение своих взглядов.

¹ Кажется, Э. Кант первый понял астрономическое значение приливов и отливов – значение того трения, которое они производят в связи с длиной суток и положением Луны.

Вероятно будущий историк представлений о природных водах найдет и других предшественников мной выставляемых идей. По-иному, чем он здесь дан, конечно, выявится ему и весь исторический ход идей, здесь изложенный.

Ибо история вопроса меняется с изменением наших представлений, прошлое которых является ее объектом.

505a. Эта глава была уже отпечатана, когда в начале 1933 г. было сделано величайшее открытие в истории воды, которое может быть поставлено наряду с открытием ее химического состава в 1781–1783 гг. (§ 413). Это открытие сверх того ставит совершенно новые проблемы в минералогии и в геохимии природных вод, о которых еще в 1931 г. никто не помышлял (§ 398). Это было открытие существования нескольких физически, химически и биохимически различных вод в зависимости от нахождения изотопов водорода, легкого обычного и тяжелого изотопа с атомным весом вдвое большим. Очевидно, существование нескольких изотопов кислорода заставляет считаться с возможностью нахождения на Земле нескольких физически, химически и геохимически различных вод – не только двух сейчас установленных. Надо уже сейчас считаться с возможностью шести вод, изотопически различных¹.

В 1932 г. американские физики Урэй, Брикуик и Мерфи (Urey, Breckweck a. Murphy) открыли тяжелый водород; атомный вес его равен $2,01341 + 0,00018$ по отношению к кислороду веса 16 (Бэнбридж, 1932). Американский физико-химик Льюис (Lewis), исходя из этого открытия, доказал существование примеси тяжелой воды H_2^{18}O в обыкновенной воде H_2^{16}O и выявил, что все определенные до сих пор константы воды должны подвергнуться новому экспериментальному пересмотру. Уже в середине 1933 г. Льюис вместе с Макдональдом мог определить основные константы новой воды H_2^{18}O ; для воды H_2^{18}O , в которой находилось меньше 0,01 % (по весу) обычной воды H_2^{16}O – точка плавления равна $+3,8^\circ$, точка кипения $101,42^\circ$; плотность при $25^\circ - 1,1056$, температура наибольшей плотности $+11,6^\circ$. Очевидно, это совершенно новое тело. Лед тоже совсем другой.

Во всем дальнейшем изложении я буду принимать во внимание существование этой воды, свойства которой изменены в такой степени по сравнению с обычной, как это еще никогда не наблюдалось для изотонических разностей. Но я не могу сейчас же не обратить внимания на те основные искания, какие открытие этой воды вносит в данные и в проблематику минералогии воды.

Прежде всего ставится по-новому вопрос об отношении воды и жизни. Эта новая вода резко отличается от обычной воды тем, что она не только является ядом для организмов, как это имеет место и для обычной воды химически чистой (H_2^{16}O), но она не может организмами (в чистом виде) использоваться. Ставится по отношению к равновесию вода \rightleftharpoons жизнь (§ 112 сл.) новая проблема: захватывается ли эта новая вода организмами или нет или захватывается иногда? Возможно, что состав воды организмов другой, чем воды косной природы.

Во-вторых, ставится новая проблема: как распределяются тяжелые молекулы воды в природных водах? Пока есть только первые определения количества этой воды в природе. Для дождевой воды Принсетоуна в Северной

¹ Их число увеличится, если принять во внимание существование изотопа H^3 .

Америке Д.С. Тэйлор нашел $2 \cdot 10^{-20}\%$ по весу молекул H_2O . Еще и другой вопрос стоит на очереди – какова вода в метаморфической геосфере? Найдём ли мы здесь концентрацию тяжелой воды?

8. Химический состав минералов группы природной воды¹

Состав твердых фаз

506. Из всего вышеизложенного ясно, что наиболее сложны и разнообразны с химической точки зрения жидкие разности природных вод.

Они и наиболее изучены. Для твердых разностей анализы очень неполны и скудны. Можно, однако, применить и для твердых фаз природных вод те основные принципы классификации, какие так ясно проявляются для фаз жидких (§ 333 и сл.).

В основу можно положить деление на *царства*. Но для твердых фаз воды существует, главным образом, одно царство (§ 336) – *поверхностных вод*. Царство подземных вод представлено слабо, царство глубинных вод не имеет представителей среди твердых водных фаз. Лед при температуре и давлении, характерных для этих царств, неустойчив.

Царства делятся на *подцарства, семейства, виды* (§ 354). На основании концентрации солевого остатка различаются *классы*. Для твердых фаз редки и мало изучены *рассолы*.

Можно сейчас точно научно говорить только о двух классах твердых минералов воды – пресном и соленом льде. Рассольный лед, однако, есть и требует изучения (§ 514, 357).

Соленые льды (и рассольные особенно) представляют вероятно не химические растворы, а закономерные *физические смеси, структура* которых разнообразна и еще не ясна (§ 514).

Деление на *подклассы* – по газовым компонентам – может быть проведено с трудом – не по существу дела, а по малой изученности явления.

И здесь есть резкая особенность – *ряды* (§ 335) с кислородом должны господствовать, и, может быть, бескислородных подклассов природного льда нет.

507. Обычно химические представления об этой подгруппе получаются анализом (химическим) той жидкой фазы, которая образуется при их плавлении.

¹ Ниже следует замечание Б.Л. Личкова, редактора II тома избранных сочинений В.И. Вернадского, по тексту которого печатается настоящий 5-й том Собрания сочинений: этот восьмой раздел книги В.И. Вернадского, содержит фактический материал для характеристики всех видов вод на Земле и очень интересен. В.И. Вернадский, следуя основной своей идее о минералогии воды, постарался придать этому очерку форму описания минералов группы воды и соответственно этому дать описание каждого выделяемого им вида минералов. Как выше было указано, мы этому списку большого научного значения не придаем, поэтому изложение самой этой классификации сократили. С этой точки зрения подошли мы и к содержанию всего восьмого раздела книги В.И. Вернадского: мы сочли необходимым несколько сократить его. Число видов вод В.И. Вернадский первоначально считал равным 485, позже он назвал для него цифру 600. Но и эта цифра, по его мнению, не дает точного учета числа видов. Редакция сочла возможным сокращение этой главы произвести главным образом за счет уменьшения в тексте книги числа анализов, которые относятся к характеристике видов минералов воды. По нашему убеждению, связность текста от этого только выиграла. – *Ред.*

Это, конечно, дает не вполне отвечающее реальности представление о составе твердой воды: часть компонентов полученной жидкой воды могла сохраняться в твердой ее фазе или в твердом виде (в кристаллах), или в жидких концентрациях (каплях), уже существовавших в твердой природной разности как таковые. Такие тончайшие включения действительно констатированы во многих случаях и теоретически неизбежны.

Существование *твердых растворов* для льда является недоказанным, но отрицать возможность их образования – по аналогии с явлениями, наблюдаемыми для других твердых тел (например для силикатов, свободных элементов и т.д.), тоже нельзя. Вопрос требует изучения.

Но и условия образования твердых водных фаз делают образование резко выраженных твердых растворов мало вероятным. Ибо лед выделяется из растворов, причем, судя по опытам наших лабораторий, явление идет по схеме:

Водный раствор \rightarrow кристаллы льда (твердая фаза)
 \searrow «криогидрат», тесная смесь
кристаллических гидратов
солей и чистых кристаллов льда

Образуются в криогидрате кристаллы солей, богатые водой, очень низкоплавкие – более низкоплавкие, чем лед.

Такое образование при обычной температуре рассолов, отвечающих криогидратам с точками плавления до -70° , подтверждается новыми прямыми наблюдениями Г. Таммана (1929) для глетчерного льда и П. Балавуана (Balavoine, 1929) для пресноводного озерного льда (§ 939).

«Солеными» льдами будут являться льды, более богатые каплями маточного раствора или (при их испарении и при особых условиях) включениями кристаллов солей. Но это последнее явление должно быть более редким. Соленый лед должен представлять твердое тело, содержащее микроскопически мелкие рассольные капли или микроскопические твердые включения. Он отвечает дисперсным системам – коллоидальным эмульсиям или мутям, едва ли растворам.

508. Область нахождения твердых фаз воды ограничена в земной коре не только книзу, но и кверху. Книзу, в биосфере она заходит на десятки метров, может быть изредка больше, на сотни ниже земной поверхности суши в областях вечной мерзлоты (§ 58). Кверху она заходит за пределы стратосферы. Высокая температура верхней стратосферы и ионосферы исключает нахождение в ней твердой фазы воды. Даже для более низкой части стратосферы – для перистых облаков, которые еще недавно считались типичными облаками из кристаллических снежинок, это становится сомнительным. Возражения Г. Симпсона (1923), рассматривающего их как переохлажденные капли жидкой воды, заслуживают серьезного внимания, и, вероятно, окажутся верными.

Область твердых фаз воды ограничена верхними слоями тропосферы и нижней стратосферы. В тропосфере образуются и оттуда доходят на сушу и океан снег и град.

Здесь идет постоянный процесс:

снег \rightarrow жидкие капли \rightarrow (град)

Поэтому состав талого снега и града может отвечать его твердой фазе.

Таяние снега постоянно происходит в атмосфере. Переход снега в дождь и обратно – обычное явление.

То же самое надо сказать и по поводу состава *инея* по сравнению с составом *росы*.

Это почти всегда бедные твердыми компонентами *пресные льды*.

Пресными водами являются воды, образующиеся при таянии ледников как материковых, так и альпийских. Они являются формой метеорной воды, не подвергшейся сильному химическому изменению после своего выпадения из атмосферы – наиболее чистые (§ 562).

Они все могут быть рассматриваемы как *твердые фазы*, отвечающие *дождевой воде*.

509. Следующие неполные анализы могут дать представление о химическом составе *снега и инея*. Полных анализов нет. Мы имеем немногочисленные, в общем, определения некоторых компонентов, которые интересовали исследователя из соображений гигиенических или агрономических.

Я даю здесь пределы наблюдаемых колебаний, учитывая чрезвычайную недостаточность имеющихся данных¹.

		<i>Снег</i>		
	Плотный остаток			$6,0 \cdot 10^{-3} - 2,1 \cdot 10^{-2} \%$
	Взвешенная муть			$4,0 \cdot 10^{-4} - 4,3 \cdot 10^{-1}$
	Органические вещества			$1,1 \cdot 10^{-2} - 2,4 \cdot 10^{-3}$
		<i>Элементы</i>		
N ¹	$4,5 \cdot 10^{-3} - 1,6 \cdot 10^{-3} \%$	S ⁵		$2,1 \cdot 10^{-4} - 2,3 \cdot 10^{-6} \%$
O ²	$2,9 \cdot 10^{-3} - 8,0 \cdot 10^{-4}$	Ca		$6,0 \cdot 10^{-4} - 2,6 \cdot 10^{-5}$
Na	$1,2 \cdot 10^{-3} - 5,6 \cdot 10^{-4}$	H ⁶		$1,8 \cdot 10^{-4} - 7,6 \cdot 10^{-6}$
Cl ³	$1,0 \cdot 10^{-3} - 2,0 \cdot 10^{-4}$	F		$3,1 \cdot 10^{-5}$
C ⁴	$3,8 \cdot 10^{-4}$	J		$2,2 \cdot 10^{-7} - 5,4 \cdot 10^{-11}$
Есть K, Br, Mg, Ra, ThX, Rn.				

¹ До $7,5 \cdot 10^{-3} \%$ и больше? В городских поселениях свежий снег содержит до $4,0 \cdot 10^{-3} \%$ NH₃. Может быть, иногда сходит на нет для наших методов химического анализа.

² Из CO₂, растворенного O₂ (до $7,7 \cdot 10^{-4} - 1,4 \cdot 10^{-3} \%$), SO₄, NO₃, Органические вещества не приняты во внимание; если бы их принять, кислород встал бы на первое место. Растворенная CO₂ ... $2,2 - 5,5 \cdot 10^{-4} \%$.

³ Анализа снега приморских мест нет. Должно увеличить число для хлора.

⁴ CO₂, Органическое вещество не принято во внимание. Должно повысить.

⁵ Из SO₄ может быть иногда SO₃. В культурных местностях – городских и фабричных – нередко много больше. Только что выпавший снег дает до $1,0 \cdot 10^{-4} \%$ серы, максимально $6,3 \cdot 10^{-4}$ (в городах $3,0 \cdot 10^{-3}$) SO₄.

⁶ Из NH₄ и NH₃. Органические вещества не учтены.

Характерно для снега также, как для дождя, *преобладание соединений азота*.

¹ В анализах и снега и росы чрезвычайно сказывается влияние культурной жизни человека:

N(газ)	$2,8 \cdot 10^{-3} - 1,6 \cdot 10^{-3} \%$
NH ₃	$1,0 \cdot 10^{-3} - 5,0 \cdot 10^{-5}$
HNO ₃	$5,1 \cdot 10^{-4} - 0? - 4,5 \cdot 10^{-5}$
HNO ₂	$3,2 \cdot 10^{-6}$
Органический N	$n \cdot 10^{-4}$

Для снега (и пресноводного льда) очень характерно, что он при лежании впитывает из воздуха NH_3 , SO_3 и N_2O_5 , так что количество этих тел может увеличиться очень значительно. Наблюдения дают для:

SO_3 до $7,6 \cdot 10^{-3}\%$ (Ю. Стоклаза в Праге)
 NH_3 до $1,8 \cdot 10^{-3}\%$ (исходный $1,0 \cdot 10^{-3}$, по И. Буссенго)

В «загрязненных» деятельностью человека местностях количество этих тел может достигнуть значительно больших величин – SO_3 до $9,1 \cdot 10^{-3}\%$ (Леман).

Снег не только впитывает в себя разные тела из атмосферы – он может (в определенных условиях) очищаться от растворенных, посторонних тел. Это происходит с лежалым снегом при многократном таянии – вымораживании (§ 562). К сожалению, анализа талого снега (в горных областях?, у нас весной) – нет. Величина плотного остатка $n \cdot 10^{-3}\%$ должна быть для него много меньше.

510. Еще более случайны наши знания об *инее*. Вот имеющиеся случайные указания:

Плотный остаток	$9,0 \cdot 10^{-4}$ – $2,6 \cdot 10^{-4}\%$	NH_3 ¹	$6,2 \cdot 10^{-4}$ – $7,7 \cdot 10^{-6}\%$
Органические вещества	$4,5 \cdot 10^{-4}$ – $2,0 \cdot 10^{-4}$	HNO_3	$2,5 \cdot 10^{-4}$ – $1,0 \cdot 10^{-5}$
		HNO_2	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Cl	$8,0 \cdot 10^{-4}$ – $8,0 \cdot 10^{-5}$	J^2	$8,4 \cdot 10^{-7}$ – $1,0 \cdot 10^{-10}$

¹ Для городских мест выше – $7,0 \cdot 10^{-3}\%$.

² Органический йод $1,0 \cdot 10^{-7}$ – $4,1 \cdot 10^{-8}$; неорганический $5,0 \cdot 10^{-7}$ – $5,2 \cdot 10^{-8}\%$.

Есть данные для *изморози*:

NH_3 $2,7 \cdot 10^{-4}$ – $2,2 \cdot 10^{-4}\%$

511. Ничтожны данные и для *града*. Мы имеем здесь указания:

HNO_3 $8,0 \cdot 10^{-5}$ – $5,0 \cdot 10^{-5}\%$
 NH_3 $2,2 \cdot 10^{-3}$ – $1,0 \cdot 10^{-4}$

Обращает внимание большое число для аммиака.

Особенно желательно определение *газов* в градинах, так как оно может указать на особенности тех высоких областей, в которых иногда образуются градины.

Нахождение в них NaCl указано уже давно Брандесом (1825).

512. Мне неизвестны для *льда глетчеров* количественные данные о его химическом составе, кроме определения газов находящегося в нем воздуха. Эти числа дают:

О растворимый $1,1 \cdot 10^{-3}$ – $2,4 \cdot 10^{-5}\%$
 N растворимый $1,5 \cdot 10^{-3}$ – $1,0 \cdot 10^{-4}$

При образовании льда из снега захватывается воздух, находящийся под большим давлением и богатый CO_2 ; давление, по Коху, достигает 10 атм.

Все природные льды содержат бактерии. Выраженные в весовых процентах (считая вес бактерий порядка 10^{-10} – 10^{-11} г), мы получим:

Снег $2 \cdot 10^{-10}$ – $4 \cdot 10^{-9}\%$
 Град $7 \cdot 10^{-9}$ – $2 \cdot 10^{-7}$
 Глетчеры $4,1 \cdot 10^{-10}$

Снег при лежании меняется (§ 509) – поэтому анализ *фирнового снега* должен дать другие данные – особенно для азота и серы. Анализы мне неизвестны.

Снег, град, лед ледников, лед ископаемый отвечают пресной воде.

Анализы льда плавающих льдин дают (анализ Чернышева, экспедиция С.О. Макарова):

Плотный остаток	$2,7 \cdot 10^{-2}$ – $8,7 \cdot 10^{-2}\%$
Cl	$7,2 \cdot 10^{-3}$ – $9,4 \cdot 10^{-3}$
SO ₃	$7,8 \cdot 10^{-3}$ – $6,0 \cdot 10^{-4}$

Полярный лед более богат золотом, чем вода полярного моря (4 – $5 \cdot 10^{-9}$ для воды из льда по Габеру).

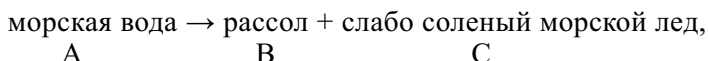
513. Лед плавающих льдин в более глубоких частях переходит в *соленый лед*, в новый класс твердых фаз воды.

Так, по анализам Чернышева (экспедиция Макарова) на глубине 120–160 см от поверхности наблюдается:

<i>Плотный остаток</i>	$2,2 \cdot 10^{-1}$ – $3,0 \cdot 10^{-1}\%$
Ионы	
Cl	$9,7 \cdot 10^{-2}$ – $9,3 \cdot 10^{-2}$
SO ₄	$1,4 \cdot 10^{-2}$ – $1,2 \cdot 10^{-2}$

Как указано, характер солевых компонентов неясен (§ 507), но все указывает на физическую *неоднородность* такого льда.

Явление это химически очень мало изучено, и нельзя дать его полную характеристику. Впервые наблюдения О. Петтерсона во время экспедиции А. Норденшёльда (1878–1883) указали, что при замерзании морской воды происходит распадение ее по уравнению:



причем состав А, В и воды от таяния С неодинаков. Во время замерзания воды идет химический процесс, меняющий состав раствора подобно тому, как это наблюдается во время ее испарения. В зависимости от температуры, очевидно, образуются различные гидраты, и идет химическое взаимодействие между солями разных кислот, входящими в состав морской жоды.

Морской лед более богат сульфатами (по сравнению с хлором), чем морская вода, причем постепенно относительное количество сульфатов все растет. Так, по наблюдению Петтерсона для Северного Ледовитого моря вдоль Сибирских берегов, мы имеем:

100 Cl:	11,70–11,89	SO ₃	Вода А
100 Cl:	1,67–1,13	SO ₃	Вода В,

а для воды С (из Каттегата, Балтийского моря и Шпицбергена):

100 Cl:	12,80–	6,6	SO ₃	Вода С.
---------	--------	-----	-----------------	---------

Последние большие числа SO₃ относятся к ледяным пловучим айсбергам около Шпицбергена. По мере плавания льдин процент SO₃ все повышается¹.

¹ Этот основной вопрос неясен и требует проверки. Наблюдения Петтерсона подтверждены Рингером. Однако пробы Мальмгрена и Свердрупа (1919) дали обратные результаты, т.е. Cl/SO₃ повышается. Прямые химические определения В. Визе (1929) около Земли Франца-Иосифа подтвердили наблюдения Петтерсона. Свердруп и Мальмгрен химически воду не изучали: определяли удельный вес.

514. Обычно верхний морской лед содержит около 1% солей. Но иногда солевой остаток превышает 5%; мы имеем ледяные *рассолы*, которые должны быть выделены в *особый третий класс льда*.

Это верно, например, по числам хлора (содержащим бром) кристаллов льда, изученных О. Петтерсоном. Для этих ледяных рассолов мы имеем, например, для чистых, старательно отобранных кристаллов 4,726% такого Cl. Очевидно, весь солевой остаток будет значительно большим.

Норденшёльд отмечает, что соленость увеличивается к поверхности льда, это вызывается нагреванием ледяных масс летом и весной.

С возрастом, таким образом, состав соленого льда будет меняться. Устойчивой формой в полярных условиях может быть, в известных случаях, *рассольный лед*.

Соленый и рассольный льды, очевидно, не являются вполне однородными телами, они являются закономерной *физической смесью*.

Часть рассольного и соленого льда может быть отнесена к так называемым криогидратам, т.е. к тесной смеси слабосоленого льда или даже льда пресного и гидратов $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ или $\text{NaCl} \cdot n\text{H}_2\text{O}$, устойчивых только при очень низких температурах (и где n больше единицы).

К сожалению, достаточных химических данных для суждения у нас нет¹.

515. Еще менее изучены те льды, которые образуются при замерзании *озер* – соленых и рассольных.

Мы имеем здесь лишь немногие случайные данные.

Этот лед всегда заключает соль и, может быть, для рассолов дает рассольный лед, очевидно существующий только в суровые зимы и только временами.

Такие климатические условия должны существовать для Сибири и прилегающих частей холодных областей Азии – и временами для бесчисленных соленых озер востока Европейской части СССР и Западной Сибири.

Лед этих озер анализировался изредка. Так, для Тамбуканского озера около Пятигорска по В. Третьякову (1927) вода, образовавшаяся от его таяния, содержит

Cl	$5,0 \cdot 10^{-1}$ до 1,0%
SO ₃	2,0–2,8%

Состав газовых фаз природной воды

516. Наши знания о составе природной *парообразной* или газообразной *воды* являются очень неполными.

Они неполны, во-первых, потому, что недостаточно изучены природные формы водяных паров. Но они неполны и потому, что на явления испарения водных *растворов* нельзя переносить целиком выводы, которые правильны по отношению к химически чистой или к чистой пресной воде. При испарении получают не только газообразные молекулы воды, но в разных количествах улетучиваются и некоторые компоненты раствора. Особенно ясно это сказывается при испарении сильно соленых и рассольных растворов.

¹ По-видимому, этот процесс даже не чисто химический, а связанный с явлениями жизни: в разрушении льда (его разведании) жизнь (диатомовые водоросли, в частности) играет очень видную роль. Химия этого процесса не изучена.

С другой стороны, при испарении воды при ее точке кипения устойчивы в водяных парах некоторые обычно нелетучие вещества, например H_3BO_3 . В геологических явлениях, когда время и массы реагирующего вещества очень велики, ничтожные подмеси к водяным парам таких сторонних тел приобретают значение и сказываются в составе водяных паров, которые никогда не являются химически чистыми.

Необходимо также иметь в виду, что в природных условиях испарение идет не из спокойных водных масс, а из масс, находящихся в движении, иногда бурном, каким является поверхность соленых вод океана и морей во время волнений, бурь, прибоев, воды гейзеров и вулканов, многих минеральных источников и т.п. При этом брызги и капли попадают в воздух, испаряются, оставляют тончайшую муть, которая переходит в раствор в той жидкой воде, которая попадает в эту среду или в ней сгущается. Так получается в значительной мере солевой остаток метеорных вод – дождей и снега – помимо того хлора и натрия, которые, например, получают при испарении с океанических поверхностей.

На эти явления обратили внимание уже в начале XVIII в. одновременно в 1705 г. А. Лёвенгук в Голландии и Фуллер в Суссексе, и ими объяснял А. Лавуазье¹ состав метеорной воды, ее отличие от воды, дистиллированной в лабораторных условиях.

Обычно можно иметь лишь очень неполное представление о химическом составе природных водяных паров.

517. Но есть еще одно природное явление, которое имеет место в земной коре – вероятно в большом масштабе, – но которое очень недостаточно охвачено теоретической мыслью, *это растворение в газообразных массах твердых и жидких компонентов как функция температуры и давления.*

Одновременно наблюдаются два различных процесса: во-первых, *испарение* всякого *твердого тела*; оно увеличивается при повышении температуры и в газовой среде, обладающей движением; и во-вторых, *растворение* в газобразной среде твердого тела, приходящего в соприкосновение с этой средой: это растворение должно увеличиваться не только при увеличении температуры, но и при увеличении давления.

Оба явления должны иметь место в стратиффере и в метаморфической оболочке, в областях повышенной температуры и давления в большем масштабе, чем в биосфере.

Эти проблемы настоятельно требуют изучения в связи с характеристикой природных паров.

518. Мы наблюдаем в биосфере, с одной стороны, водяные пары атмосферы, главным образом тропосферы, с другой – водяные пары вулканических и сопочных извержений и горячие водные струи гейзеров. Водяные пары гейзеров иногда являются частным примером терм и в таком случае должны быть рассматриваемы совместно с ними. Иногда, как в Исландии, связь их с вулканическими извержениями кажется несомненной. Но очень вероятно нахождение в земной коре скоплений горячих (перегретых) водяных паров далеко от вулканических очагов и от них, по-видимому, независимых (§ 521, 531).

¹ Печатные работы впервые в 1865 г. Независимо такое же объяснение дал Д. Дальтон в 1822 г.

Таким образом, в доступных нам участках земной коры имеется, по крайней мере, *три типа водяных паров*, долженствующих отличаться по своему химическому составу¹.

В первом случае – водяных паров тропосферы – они почти недоступны нашему непосредственному изучению: мы можем изучать лишь их сгущение в жидкую воду, происходящее постоянно в тропосфере.

Уже здесь, в облаках, тучах и туманах, скоплены сгущенные в жидкие капли пары воды. Этот процесс происходит непрерывно.

Мы анализируем эти первичные сгущения, когда они падают на землю в виде снега, дождя, туманов, отчасти росы.

Очевидно, уже при этом первичном сгущении они резко меняют свой состав, так как в жидком состоянии они легче растворяют часть пыли, и следы газов, чем в парообразном состоянии.

519. Вода проникает всю тропосферу, уменьшаясь в количестве с высотой и с понижением температуры; ее пары более легкие, чем заключающий их воздух. Количество водяных паров непрерывно и чрезвычайно меняется. Некоторые числа могут дать об этом понятие. Абсолютная влажность (т.е. количество насыщенных паров при данной температуре и давлении) колеблется между – 25 и +30° при 760 мм в пределах, которые вызываются воздухом, содержащим от $5,5 \cdot 10^{-2}\%$ до 2,39% воды по весу. Так как температура колеблется в больших пределах, то, очевидно, эти числа не являются конечными. Во влажных жарких местах процент водяных паров может достигать временами значительно больше 3–4 процентов по весу.

В годовом среднем, по С. Аррениусу, в разных широтах на земной поверхности процент (весовой) паров воды в воздухе колеблется в пределах 0,23–1,12%.

520. Эти числа дают лишь очень отвлеченное, далекое от реальности, среднее представление о характере и составе водяных паров тропосферы.

В разных частях тропосферы, в ее географическом и вертикальном разрезе состав паров должен быть различен, так как среда, где они находятся, резко меняется.

Особенно сильно это выражено вблизи земной поверхности.

В областях, богатых растительностью, в лесах, над степями и лугами состав водяных паров должен быть совершенно иной, чем, скажем, на горных высотах, в области, далекой от земной поверхности. Здесь тропосфера, с одной стороны, переполнена разнообразнейшими органическими соединениями – выделениями жизни и продуктов распада ее выделений в первую очередь. Это *запахи*, геологическое значение которых огромно и не изучено. Они содержат кроме С, Н, О, N и такие элементы, как Р и S.

Мы не знаем, в каком отношении находятся все эти тела по отношению к парам воды, но мы знаем, что они в их сгущениях – тучах, росах, туманностях – играют большую, научно неясную роль.

С другой стороны, в той же среде, в биоценозах и около них сосредоточивается *углекислота*. Тонкий надпочвенный слой является чрезвычайно обогащенным углекислотой: всякая влажная почва является энергичным ис-

¹ Некоторые горячие минеральные источники сюда не подходят и должны быть связаны с независимым *четвертым типом* водяных паров. Они химически не затронуты.

точником ее образования биохимическим путем, жизнедеятельностью микроскопической жизни.

Всякая влажная почва «дышит», т.е. выделяет углекислоту. В этих приземных слоях надо искать причину углекислых дождей и туманов (§§ 586–587).

Отсюда следует, что приземные пары являются геологически и геохимически иным телом, чем пары высокой тропосферы. Мы их должны отделять, как особый минеральный вид.

521. Если углубиться за пределы земной поверхности и прежде всего встретиться с почвой, становится ясным, что состав почвенных паров должен быть иной, чем надпочвенных.

По мере углубления за пределы поверхности биосферы условия образования водяных паров резко меняются, становятся все более и более независимыми от метеорных вод – вод тропосферы.

Уже на относительно небольшой глубине – немногих десятков метров – количество свободного кислорода резко уменьшается в подземной атмосфере. В то же время атмосфера должна делаться более сухой – пары, по-видимому, поглощаются окружающим твердым веществом, которое уже в подпочве и в окружающих породах становится на ощущение сухим, т.е. содержит только волосную воду: водяные пары уменьшаются в подземной атмосфере подобно кислороду по мере удаления от наземных вод.

Новый источник их возникновения появляется лишь в верховодках и еще больше в более глубоких пластовых водах, которые местами сосредоточиваются в стратисфере. Хотя повышение температуры и должно повышать количество паров – эти подземные воды по массе меньше вод наземных, и для быстроты их испарения отсутствует благоприятное условие – наличие свободной массы газов и их движения.

Очевидно, глубже в метаморфической оболочке по мере повышения давления и температуры количество паров воды должно быстро увеличиваться, и мы перейдем в таком случае от воздуха с парами воды в пары воды с воздухом, причем химический состав этого воздуха будет иной, прежде всего лишенный кислорода, и создаются *подземные водяные атмосферы*.

Такие водяные пары, смешанные с газами, действительно проникают в биосферу, наблюдаются в гейзерах.

Многое указывает на то, что в земной коре в ближайших к биосфере частях стратисферы всюду находятся большие и малые трещины, пустоты и вместилища разного вида, в которых собираются перегретые сдавленные водяные пары, дающие гейзеры; пары эти идут с глубин во многие сотни метров. Это водяной пар, нагретый выше 140° , содержащий NH_3 , H_2S (переходящий в SO_4), бор, богатый азотом (§ 534).

Но это только один из типов таких перегретых паров воды.

Если мы не можем непосредственно наблюдать в биосфере другие скопления, можно заключать научно точно об их существовании в глубоких слоях земной коры – в стратисфере и, может быть, в метаморфической геосфере.

Таковы прежде всего смеси H_2O – CO_2 , являющиеся, вероятно, очень сильными кислотами, существование которых можно вывести на основании изучения парагенезиса минералов (например, сухие трещины – альпийский

тип минералов), $H_2O - CO_2 - H_2S$ (минеральные жилы) и, может быть, $H_2O - HCl - CO_2$. Все эти смеси паров, надо думать, содержат N_2 и, должно быть, CH_4 .

Увеличение температуры приводит на глубине (в среднем почти 10 км) к температуре критического состояния воды: вода приобретает все свойства газа.

Характерно, что все наиболее здесь известные, смешанные с парами воды газы являются кислыми ангидридами с химической точки зрения, в которых H_2O , CO_2 и H_2S – особенно первые два – преобладают.

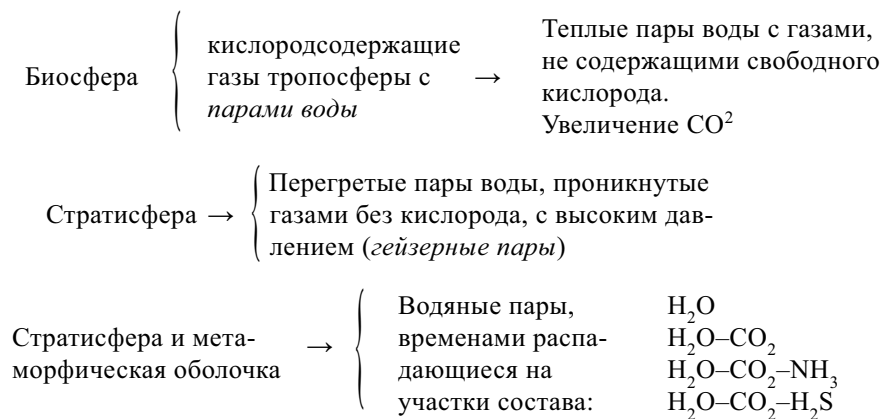
Газообразная H_2O при этой температуре должна быть тоже кислотой (§ 467).

Нахождение с H_2O в этих областях высокого давления и температуры H_2 , CH_4 и других углеводородов может быть только констатировано, но не изучено; здесь начинается область и других газов, как SiF_4 , $SiCl_4$, HF и т.п.

Выяснение их значения – дело будущего.

При дальнейшем повышении давления, когда оно приближается к $30\ 000\text{ кг/см}^2$, на глубинах около 55–60 км свойства материи не могут определяться нашими представлениями о газе, жидкости, твердом теле. Здесь царит особое надгазовое состояние – газ (т.е. пары воды) не существует.

522. Таким образом, мы имеем следующую картину распределения водяных паров в земной коре:



Для $H_2O-CO_2-NH_3$ (в связи с гейзерами) есть указания на скопления пустотных газоносных пород. Для других надо допустить их передвижение по трещинам.

Возможно значительное увеличение содержания углеводородов с глубиной.

Все эти газы находятся под большим давлением.

523. Из этой схемы совершенно ясно, что как гейзерные пары, так и другие горячие пары стратисферы и метаморфических геосфер должны обладать совершенно определенным химическим составом, отличным от того, какой имеют пары химически чистой воды: это такие же определенные смеси газов, какими является окружающий нас воздух, – т.е. это особые минералы, состав которых определяется законами физических смесей: это газовые однородные смеси.

Можно в анализе состава таких минералов идти дальше и, например, для водяных паров тропосферы, ставить вопрос о составе газообразных водных молекул, составляющих, как мы видели, от процента и больше по весу состава тропосферы (§ 519). Состоит ли этот газ из химически чистых молекул H_2O , или они вносят с собой в состав газовой смеси с ними связанные («растворенные») сторонние примеси?

Наши познания здесь очень скудны, и ответить определенно на этот вопрос мы не можем.

Но при всяком сгущении в жидкость водяные пары тропосферы не будут давать химически чистой воды. Они будут при сжижении растворять газы тропосферы и те твердые пылевые вещества, которые в ней носятся и в воде растворимы, особенно гигроскопические, в ней находящиеся.

Эти процессы, неохватимые научно в их сложности, непрерывно идут в тропосфере: пар превращается в капли жидкости или обратно.

Во всяком случае всякая жидкая вода в тропосфере уже не является химически чистой. Она не является такой уже в тех мельчайших жидких каплях, которые собираются в облака и туман и которые мы можем исследовать в виде дождевой и росяной воды.

Это уже формы жидкой воды и относятся к другой минеральной подгруппе воды.

524. Очень своеобразен состав тех *горячих паров*, которые выделяются в атмосферу во время *вулканических извержений*, и состав *гейзерных струй*.

Эти воды, несомненно, не являются чистым водяным паром. Уже в газообразном состоянии до своего сгущения они имеют свой определенный состав, выходят во время химических реакций, идущих в магмах в теснейшей неотделимой смеси других газов, резко отличных от газов нашей тропосферы, в которую они попадают.

Остановимся сперва на *вулканических водяных парах*.

Во время вулканических извержений мы уже не имеем дела с *магматическими водяными* парами. Мы имеем дело со смесью этих магматических паров, с парами гейзерными, с парами тропосферы и превращенных в водяные пары жидких вод метеорных, поверхностных, верховодок, напорных, капиллярных, с которыми встретилась расплавленная магма и ее водяные пары при движении по направлению к биосфере.

Расплавленная магма и ее газы, приближаясь к земной поверхности, меняются в своем составе. Температура водяных вулканических паров достигает нескольких сот градусов, превышает по непосредственным измерениям критическую температуру воды (до 646° – по Аллену и Циссу – для вулкана Катмаи). Очевидно, имеют значение максимальные температуры: во время вулканического извержения в биосфере происходит непрерывное охлаждение вулканического пара, его сжижение, связанное с резким изменением его химического состава. Кислота – перегретый водяной газ – переходит в обычный химически инертный водяной пар нашего обихода.

От чисто вулканических паров необходимо отличать дождевые облака во время вулканических извержений, сгущающиеся пары атмосферы, составляющие значительную часть воды, выделяемой во время извержений; но и их состав в связи с особым газовым режимом вулканов будет иной по сравнению с обычными метеорными водами: они растворяют пары вулканов и фумарол,

такие как HCl , NH_3 , SO_3 и т.п., не говоря о металлических соединениях, нормально отсутствующих в такой комбинации и концентрации в тропосфере.

525. Огромные количества газов, выделяющихся во время вулканических извержений, входят в атмосферу вместе с водяными парами. Они составляют подавляющую часть тех горячих паров, которые сопровождают всякое вулканическое извержение. Можно было благодаря ученым геофизической лаборатории Карнеги в Вашингтоне убедиться, что пары, выделяющиеся непосредственно из лавы во время извержений, состоят прежде всего из воды (§ 464а).

Такой воды, непосредственно выделяемой в виде паров из лавы, мы имеем по измерениям Дэй и Шеферда (1912) для Килауэа и Аллена и Цисса для Катмаи (1912) от 96,2–99,9% всех выделяемых паров (по весу). Те же числа получаются для вулканов Вест-Индии (80–90%). Значительная часть этой воды магматического происхождения – какая, конечно, решить нельзя.

Важен факт, что вулканические пары состоят в главной своей части из паров воды, и мы можем их рассматривать как *водяные пары*, обладающие определенным, только им свойственным составом.

По-видимому, мы имеем возможность различить эти пары по их составу в зависимости от тех газообразных примесей, которые в их массе содержатся.

Точки кипения этих газовых компонентов очень различны, и потому по мере понижения температуры вулканические водяные пары будут иметь различный химический состав.

По-видимому, мы должны отличить два типа водяных вулканических паров, один из которых тесно связан с их охлаждением в *биосфере* и, очевидно, находится только в земной коре.

В ней идет процесс:

Перегретые водяные пары выше критической точки воды – А	→	Горячие пары, постепенно охлаждающиеся – В.
---	---	--

Перелом в их составе дают те газы, которые выделяются совместно с водяным паром из лавы и которые переходят в жидкое или твердое состояние ниже точки кипения воды при условиях биосферы.

Этим путем вода очищается от всех летучих соединений, которые в условиях биосферы не являются газообразными или не удерживаются ее парами (например, бор).

В конце концов мы получаем два типа водяных вулканических паров.

А	→	В
Содержит летучие компоненты, являющиеся в условиях температу- ры кипения воды жидкими или твердыми		содержит только газообразные компоненты при температуре ниже кипения воды

526. Благодаря этому можно применить к вулканическим водяным парам те же основные подразделения, какие использованы для *жидких водяных масс*.

Можно различать *рассолы, соленые и пресные пары*, причем для вулканических паров известны только соленые (0,1–5% по весу сторонних газов) и пресные пары.

Обращаясь к тем газам, которые остаются примешанными к вулканическим парам при понижении их температуры до 100°, можно убедиться, что это постоянные газы, т.е. газы, которые находятся в газообразном состоянии вообще в термодинамическом поле нашей планеты.

Это те газы, на основании которых выделены подклассы природных жидких вод.

Очевидно, можно и для паров применить этот принцип классификации.

Свободный кислород, с которым связаны пары атмосферы, здесь отсутствует.

Мы имеем все случаи, указанные в § 232 и сл. – *азотные, углекислые, сероводородные, метановые и водородные*.

Количество водорода в газах Килауэа достигало до 11,8% всех газов; по-видимому, в Катмаи оно было еще больше.

Более новые работы Шеферда (извержение Килауэа в 1919 г.) дали меньшие количества водорода, и, по-видимому, в биосферу входят газы, уже в значительной мере окисленные; после воды идут CO₂ (до 47,7%), N₂ (до 20,0%) и SO₂ (до 13,6%). Водородная вулканическая вода, если и может получиться в биосфере, будет редкой и непрочной.

По газовым компонентам вулканические воды, сгущенные из паров, будут, главным образом, *углекислые* и может быть не будут заключать первичного азота, чего мы не знаем, по-видимому, в такой степени для других природных вод.

Могут быть еще воды *азотные, азотноуглекислые (углекисловодородные, азотноводородные)*.

Вероятно, мы наблюдаем в составе этих вод многочисленные изменения – разности, может быть связанные с ходом вулканических процессов.

527. Несмотря на малую изученность этих вод, можно и должно уже сейчас отметить чрезвычайно своеобразный их характер, резко отличающий их от всех других нам известных вод нашей планеты.

В первое время после своего сгущения в жидкость эти пары дают *резко кислые воды*, богатые активными кислыми ионами. Они являются *природными кислотами*.

Сгущенные вулканические пары, судя по анализам, являются содержащими в растворе газы, слабыми кислотами сернистой, серной, угольной, отчасти хлористо- и фтористоводородной.

Кислый характер этих вод очень быстро, по-видимому, исчезает в происходящих из них минеральных источниках.

Очень быстро отвечающие им анионы дают солевые растворы, беря из окружающей среды катионы Ca, Na, K, NH₄, Mg, Al, Fe и т.п.

Пока реакции на окружающие твердые тела не начались, выделяющиеся воды являются водами, богатыми при сгущении анионами – SO₃²⁻, – SO₄²⁻, HSO₄¹⁻, HCO₃¹⁻... Очень быстро входит в них при соприкосновении с окружающей средой кремний. Хлор в изученных случаях играет второстепенную роль – но он и фтор несомненно не только присутствуют, но являются характерными элементами.

Кислые ионы меняются во время сгущения, так, например, S является для вулкана Ларсена на Аляске, по Дюю и Аллену, в разные времена сгущения в форме SO₃, а затем – ионов HSO₄ и, наконец, SO₄²⁻.

Насколько можно сейчас судить, такими кислотами по господствующему компоненту являются HCl , H_2SO_4 , H_2CO_3 (распадается) – в меньшем количестве, не являясь преобладающей – H_2S и HF .

528. Кислый характер этих паров не только сказывается в том, что при сгущении они дают своеобразные воды – *растворы кислот*, но и в том, что эти вулканические пары являются могущественными химическими изменителями окружающих пород благодаря своей температуре и, вне биосферы, высокому давлению.

В этом отношении вулканические пары резко отличны от гейзеровых водяных паров, которые могут давать *щелочные скопления* при богатстве аммиаком (§ 533).

Мы не знаем почти в земном веществе летучих газообразных щелочей при температурах ниже 100° ; таким является только *аммиак*. Тогда как для кислот очень многие из них могут существовать в свободном виде в газообразном состоянии при обычных температурах биосферы и при тех относительно низких температурах (ниже $100\text{--}200^\circ$), которые отвечают вулканическим водам. Таковы газы SO_2 , SO_3 , HCl , HF , H_2S , N_2O_6 , NO_3 , N_2O_3 , CO_2 , CSO , PH_3 , H_2Se , H_2Te . Возможно нахождение SiF_4 , может быть SiCl_4 , TiF_4 , галоидных соединений В и Аs. В общем эти явления, к сожалению, недостаточно изучены.

В парах воды летят и такие кислоты, которые считаются не летучими, как, например, борная – H_3BO_3 .

529. Есть ряд анализов паров, предпринятых, главным образом, Геофизической лабораторией Карнеги в Вашингтоне, которые были сделаны до сгущения паров в жидкость, во время вулканических извержений.

Разделение на *классы* может быть сделано условно; по-видимому, во время извержения в зависимости от примеси паров воды выбрасываются одновременно струи паров пресные (меньше $10^{-1}\%$ сторонних газов) и соленые (больше 10^{-1} до 1% и больше). Можно было бы без нарушения принципов классификации относить соленый остаток только к твердым компонентам – и тогда все вулканические пары должны были бы рассматриваться как *пресные*. Но этот способ толкования анализов ничего нам не даст в понимании явления. Я им не пользуюсь.

В отличие от дождевых вод сгущенные в жидкость водяные пары дают точное понятие о своем химическом составе.

Пока можно говорить только о частных случаях.

530. Надо иметь в виду, что анализы вулканических паров сильно колеблются, указывая на резко разный состав водяных паров, выделяющихся или собирающихся в неоднородной вязкой изменяющейся лаве. Отдельные пузыри и полосы, даже вблизи лежащие, заполнены газом разного состава. Часто преобладают богатые H-Cl горячие *хлористоводородные водяные пары*.

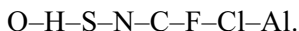
По-видимому, есть водяные пары, в которых *сера* в форме H_2S и SO_3 является выступающей на первое место.

Но обычно преобладают пары H-Cl , и все указывает, что этот хлор играет важную роль в создании солевого остатка морской воды (§ 420).

531. Новейшие данные Э. Шеферда (1921) над газами, выделенными лавой Килауэа в 1919 г., дали некоторые числа, причем, как указывалось, колебания состава для отдельных выходов газа были чрезвычайны. За исключе-

нием воды, всюду стоящей на первом месте, господствует, главным образом, углекислота (12 выходов), в двух выходах азот.

По весу элементы располагаются приблизительно в следующем убывающем порядке:



Несомненно есть еще разность, богатая серой, т.е. вулканические пары (газовые), в которых объемное содержание SO_2 доходит до 16,9%, а SO_3 – до 8,1%. Это пары $\text{H}_2\text{O-SO}_2$.

532. Совершенно особый тип водяных паров представляют *гейзерные водяные пары*, которые только недавно начинают выясняться в своем значении (§ 464а), хотя мы уже давно имели понятие как о их составе, так и о происходящих из них жидких разностях природной воды.

Как указано уже, эти воды богаты аммиаком и могут быть рассматриваемы как щелочные пары, хотя в них содержатся и анионы HS (resp. SO_4), недостаточные, по-видимому, при высокой температуре для нейтрализации NH_3 . К сожалению, химический характер этих вод еще не может считаться точно установленным. Однако резкое отличие их от вулканических паров несомненно бросается в глаза.

Новые работы Э. Аллена и А. Дэй в Калифорнии (1927) дают основание заключать не только о своеобразии этих вод, но и о их значении в механизме земной коры.

Температура этих вод значительно более низкая, но выше температуры кипения воды – колеблется от 150 до 190°.

Химически изученные гейзеровые водяные пары и в Италии и в Калифорнии захвачены приблизительно на одной и той же глубине – около 210 м от земной поверхности.

Зоны, насыщенные газами, характерны для этих газов – *углекислый характер* газового остатка и сравнительно с CO_2 *бедность азотом*. Может быть это связано, как думают Дэй и Аллен, с магматическим происхождением газов. Но относительное богатство аммиаком совершенно при этом непонятно. Р. Назини указывает, что в отличие от других компонентов количество аммиака сильно колеблется. Возможно, что скопления перегретых газов под давлением (гейзерных) образуют в земной коре самостоятельные массы, аналогичные магматическим очагам, но от них далекие. Конечно, это могут быть – и вероятно суть – не пустоты, наполненные газом, а газоносные породы.

При сгущении этих выделяющихся паров образуются воды, очень своеобразные, богатые аммонием, бором, кремнием. Большой частью это воды соленые, но есть и пресные.

9. Химический состав жидких фаз природных вод

Общие замечания

533. Вода в жидком состоянии резко господствует в областях планеты, наилучше изученных; в биосфере она близка по весу, по крайней мере, половине всей массы воды земной коры (§ 40).

Для природных водных растворов установлены многочисленные разности на основании тысяч химических анализов. Число разностей растет по мере того, как растет число анализов.

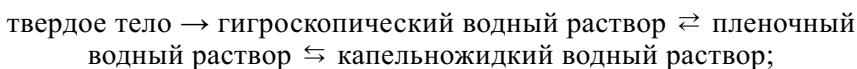
Как указано, однако (§ 353), эти анализы распределены неравномерно; огромная часть природных вод, может быть даже геологически чрезвычайно важных, ими не затронута.

Поэтому таблицы анализов, здесь приводимые, явно не охватывают многих важных минералов, сюда относящихся¹.

К сожалению, почти всегда эти не представленные в анализах водные растворы остаются без внимания и в суждениях о природной воде. Конечно, наши знания об этих водах очень недостаточны, мы далеко не всегда даже можем сравнивать их с водами, которые анализируются. Конечно, надо пользоваться неизбежно косвенными наведениями с большой критикой и осторожностью.

Однако все же известные выводы должны быть сделаны, и их нельзя оставить без внимания и о них умалчивать. Эти воды без анализов существуют реально, играют очень большую роль в истории природных вод и в химии нашей планеты. Умолчание о них несомненно приводит к искаженной и неверной картине природы. Введение их в наши суждения позволит подойти в конце концов к научному охвату истории природных вод, а сейчас вносит в те временные построения, какие мы делаем, существенные поправки. Где это возможно, я эту поправку вношу.

534. Но есть ряд вод – огромная их область – для которых анализ сейчас отсутствует еще и потому, что методика его неясна и объект исследования непосредственно недоступен человеку. Это те водные структуры, которые создаются под влиянием частичных сил на границах между водным раствором и твердым веществом планеты в земных покровах – в почвах, илах и глубже в подземных водах вообще. Здесь из неизбежно образующегося равновесия:



мы лишь иногда можем анализировать только последнюю часть равновесия.

По мере углубления в твердую кору эта последняя часть равновесия уменьшается в своем значении и с некоторой глубины совсем не проявляется.

Для таких *волосных вод*, где она отходит на второй план и где ярко выступают воды гигроскопическая и пленчатая, наши знания о химическом состоянии растворов ничтожны, так как нет еще методики исследования.

Их исследование – дело будущего.

Но и для других подземных вод, где ярко выражены пленчатые составные части равновесия, т.е. для вод пластовых и почвенных (также иловых), сейчас наши знания очень неполны.

¹ В эти таблицы введены пределы тех колебаний, которые наблюдались в действительности. К сожалению, как оговорено в предисловии, но что я считаю необходимым подчеркнуть еще раз – не учтено количество анализов, отвечающих этим числам. Поэтому в иных случаях пределы отвечают многим сотням анализов, в других – очень немногим, меньше десятка. Я сделал это упущение (не считать число анализов) в начале работы, а поправлять было уже невозможно. По возможности я пользовался первоисточниками, но большие сводки приняты во внимание. Я смотрю таким образом на указанные здесь предельные числа, как на первую пробу, подлежащую изменению в дальнейшем, если этот новый способ выражения природного явления войдет в жизнь

Реально мы не умеем выделить из почвы проникающий ее *почвенный раствор*.

Мы знаем, что существуют многие десятки видов почвенных водных растворов, но выразить для них количественный химический состав мы не можем ни в целом, ни в их капельножидкой (гравитационной) составной части. Однако благодаря работе русских ученых (А.Г. Дояренко, Л.Ф. Лебедев) для капельножидкой составной части мы в ближайшее время, очевидно, должны получить точные количественные химические данные.

Для подземных пластовых вод есть количественные анализы, но эти анализы дают отдаленное представление о химии вод стратисферы и глубже. Мы можем получить для сравнения образцы, которые или достигают биосферы природным процессом или же добыты бурением человеком. В обоих случаях изучается часть воды равновесия – капельножидкая, которая выдавливается из сложной расслоенной водной системы, проникающей твердую среду.

Эта часть как-то связана с остальными водами равновесия. Дело будущего – выяснить существующие здесь закономерности.

Больше наши знания о восходящих водах – минеральных источниках. К этому семейству принадлежат большинство установленных видов этого подцарства.

Так же могли бы быть изучены воды подземных водных вместилищ или воды гейзерные, сопочные, вулканические, но для них количественных данных собрано очень мало. На них мало обращают внимания.

Как мы видим, наши химические сведения о составе подземных природных растворов отрывочны и неполны. Для пресных вод их легче получить, чем для соленых и рассольных, но это мало отражается в имеющемся в нашем распоряжении материале.

535. При обзоре имеющихся данных оставлены без рассмотрения по необходимости как раз те воды, которые не изменены или мало изменены человеческой культурой. Ибо таковы подземные воды стратисферы и более глубинных оболочек.

Сознательно оставлены мной в стороне те воды суши, которые очень сильно изменены отбросами человеческой жизни и техники.

Им есть место в классификации, и они, очевидно, так же мало представляют случайное явление, как мало им является человеческая культура.

Но, несмотря на все – часто резкое – их отличие от «природных» вод, они в общей истории природных вод пока играют малую роль. В истории минералов ими можно пока пренебречь.

536. Но влияние человеческой культуры, очевидно, отражается – и помимо этого – в современных нам водных растворах на каждом шагу.

Ибо ею изменен весь облик живой природы и ее космической среды – облик биосферы.

Едва ли где так сильно чувствуется геохимическое влияние человечества, как в химическом составе *вод суши* (§ 129 и сл.). Воды суши нашей психозойской эры по существу отличны от тех же вод четвертичной эры, если называть этим последним именем эпоху до появления великих человеческих культур.

Человек изменил и изменяет их состав непрерывно, и темп изменения все усиливается. Сейчас исчезают последние девственные речные бассейны, где

влияние деятельности человека мало сказывалось или даже не сказывалось. Приводимые ниже данные о химическом составе рек и озер не передают целиком этого влияния, так как из него исключены воды, явно загрязненные деятельностью человека. Неявно все воды «загрязнены» – и все больше меняются, т.е. «загрязняются».

Человеческая культура есть такое же природное явление, как и все другие. «Загрязнение» вод человеческой деятельностью есть закономерное явление в истории вод – неизбежное, предустановленное ходом геологического времени. По существу дела мы должны принимать во внимание в приводимых пределах и состав рек, резко измененных.

Мы этого не делаем пока потому, что общая картина явлений еще не установлена.

Картина, которую мы даем в наших числах, таким образом, до известной степени отличается от реальной; она изменена нашим идейным построением. Она приближается (как география растений или животных) к отдаленному времени, к той девственной природе, древнему четвертичному времени, когда человек существовал, но когда еще его цивилизация была малосильна по отношению к окружающей его природе.

Эта цивилизация, по-видимому, еще мало меняет, но несомненно все сильнее меняет – воду гидросферы. Она меняет ее важные источники – воды почв, метеоров и рек. Уже поэтому состав морей сейчас другой, чем был сто тысяч лет тому назад. Количественно учесть это изменение мы пока не можем. Оно представляется нам незначительным.

537. В подгруппе жидких фаз природных вод мы имеем наиболее резкое выражение той классификации, какая принята в этой книге. Все подразделения выражены здесь, с одной стороны, наиболее типично, и, с другой стороны, благодаря разнообразию вод и чрезвычайной их подвижности в земной коре, наблюдаются переходы между логически установленными гранями.

Изучение этих переходов позволяет глубже охватывать историю природных вод, так как они не являются случайными, а указывают на существование определенных явлений, повторяющихся природных процессов, характеризующих строение земной коры. Это изучение особенно важно еще потому, что оно должно привести к уточнению нашего знания, так как часть переходов (например между пластовыми водами и минеральными источниками) есть явление кажущееся, связанное с трудностями различения разных вод.

Переходы реальные и кажущиеся наблюдаются между всеми подразделениями. Так, они существуют между основным делением на царства или на классы.

Царства поверхностных или подземных вод в природе не являются так резко отдельными, как это логически казалось бы следовало ожидать. Воды подземные – *почв* и *иловых* отложений – совершенно постепенно и незаметно переходят в воды метеорные – воды *рос* – или в такие поверхностные воды, какими являются *лужи* (§ 592). Между водами пластовыми и выходящими водами минеральных источников – есть все переходы. Очень часто (§ 718) мы не можем точно решить, с какого рода водами мы имеем дело при нашем изучении.

Два явления и здесь и дальше должны быть отмечены. С одной стороны, переходы, связанные с длительным природным процессом, между *генетически*

связанными водами, например росяные воды на влажных почвах. Границу между этими водами приходится проводить искусственно. Мы еще не так ясно сознаем это явление, так как ни росяные воды, ни почвенные растворы не изучены с химической точки зрения.

Еще больше затруднений представляют случаи *механического смешения*, когда образовавшиеся воды смешиваются друг с другом естественными процессами. Эти явления резко выражены в пределах *подцарств*. Так, на каждом шагу смешиваются (проникают друг друга) разные пластовые воды или воды минеральных источников.

Но и это явление не есть случайное. Случаи такого рода подлежат классификации, и их изучение несомненно выяснит новые природные процессы.

538. Те же переходы существуют и между *классами*. Пресные, соленые, рассольные воды закономерно – не случайно, как это часто говорят, – смешиваются.

Можно и здесь различить два разных случая: во-первых, генетические переходы, во-вторых, механические в природных процессах смешения.

Второй пример представляют вадозные, пресные воды – верховодки или верхние пластовые, – при встрече их с идущими из глубин стратисферы или еще глубже восходящими водами, с ними смешивающиеся. Это явление, с которым на каждом шагу встречается исследователь минеральных вод и которое имеет огромное значение в бальнеологии.

Как постоянно повторяющееся явление, оно подлежит тщательному изучению и, очевидно, должно вскрыть перед нами важные и большие черты истории природных вод.

Пока мы очень далеки от этого, и общие законности таких смешений не изучены.

539. Меньшее значение в масштабе природных процессов имеют генетические смешения между *классами*. Они тоже недостаточно изучены. Любопытные примеры этого явления наблюдаются среди озер в областях или полупустынных, или пустынных, или же в таких, в которых наблюдаются резкие климатические изменения (жаркое лето, влажная осень, например), или в тех случаях, когда в структуре озер есть явления, вызывающие изменения одной их части (например выход пресных подводных источников в мелких соленых бассейнах).

Но есть случаи, где одно и то же озеро непрерывно имеет в разных своих частях разную воду. Установилось известное равновесие. Таково, например, озеро Чад в Сахаре или у нас такие озера, как озеро Чаны в Барабе. Здесь соленое озеро Чаны постепенно меняет свою воду в направлении той своей части, пресной («опресненной»), которая называется Малым Чаном. Озеро Чаны охватывает 3000 км² при глубине, не превышающей 7–9 м, причем эти большие глубины очень редки. В сущности это постоянная большая лужа. Его вода постепенно переходит от соленой ($4,56 \cdot 10^{-1}\%$ солевого остатка) в пресную ($4,3 \cdot 10^{-2}\%$). Меняются все составные части, например Cl от $1,75 \cdot 10^{-10}\%$ до $2,40 \cdot 10^{-2}\%$ (И. Ауэрбах и А. Березовский, 1927).

Случаи этого рода очень разнообразны, например есть озера (Мертвое озеро на о. Кильдине), где сероводородная соленая вода наблюдается на глубинах, а на поверхности – вода пресная.

В областях ливней и больших дождей на каждом соляном озере и на огромных площадях морей образуются пресные и опресненные верхние слои, более или менее быстро исчезающие.

Бесчисленны явления этого рода, но они не нарушают принципов классификации, а только сами, в рамках этих принципов, могут быть охвачены научной мыслью. Ибо только на почве классификации вод можно отличить типические случаи и выявить существование отклонений или исключений, каковыми являются переходы.

540. Эти переходы имеют особенную интенсивность в тех случаях, когда принятые для классификации вод их признаки обладают подвижностью, от свойств воды независимой. Таковы газовые компоненты, приводящие к выделению *подклассов*.

Об их огромном значении для понимания истории подземных вод уже указывалось.

Особенно важно то, что они характеризуют целые геосферы, как, например, характерный для верхней части биосферы растворенный в воде свободный кислород (§ 233).

Благодаря смешению создаются новые подклассы и благодаря подвижности газов могут происходить мало отмеченные до сих пор закономерные переходы одних подклассов природных вод в другие.

541. Как уже указано (§ 232), число газов, имеющих значение для установления подклассов, очень незначительно. Их всего 7–8: CO_2 , N_2 , O_2 , CH_4 , H_2S , H_2 и углеводороды, которые наблюдаются в некоторых нефтяных водах (§ 252) – пропан, бутан, этан.

Возможно, что при дальнейшем исследовании роль углеводородов еще больше увеличится. Разные комбинации этих газов и колебания их количеств определяют подклассы.

Колебания общего их содержания количественно наблюдаются в относительно узких пределах. Я уже на это указывал. Содержание растворенных газов отвечает в водах биосферы порядку $10^{-3}\%$ – в пределах $3-5 \cdot 10^{-3}\%$. Только воды, попадающие в нее из глубоких слоев земной коры (пластовые и минеральных источников), благодаря постоянному переходу HCO_3^- – и CO_3^{2-} в газообразную CO_2 , благодаря уменьшению давления дают в биосфере неустойчивое ее содержание, равное порядку $10^{-1}\%$, достигая $3 \cdot 10^{-1}\%$. Но эта величина временная, преходящая, не отвечающая той газовой константе, которая существовала для этих вод в глубинах коры в их нормальной обстановке. Там их газовые компоненты могли быть много меньше 10^{-3} , едва ли могли ее превысить. Очень возможно, что вся углекислота была связана (в виде двууглекислых солей) и как газ не существовала.

Количественные изменения в связи с глубиной в подземных водах для *метана* и *азота* не изучены. Для азота есть указания, требующие проверки на содержание его в восходящих минеральных соленых источниках в количествах, превышающих его нахождение в водах наземных. Его процент в воде Cl-Na и O-C-Na-Ca доходит до $9,4 \cdot 10^{-3}-1,2 \cdot 10^{-2}\%$. К сожалению, эти важные явления мало обращают на себя внимания.

Как будто в глубоких водах газовые компоненты в среднем уменьшаются в своей величине, и подземные и глубинные воды ими обеднены.

542. Среди природных газов мы должны резко выделить по физическим свойствам в пределах физико-химического поля земной коры – газы, в пределах этого поля не переходящие в жидкость, каковы кислород, азот, метан и газы, которые в части этого поля могут находиться не только в газообразном, но и в жидком состоянии, каковы уголекислота, сероводород, углеводороды (за исключением метана и вероятно этана). Выводы, которые отсюда происходят для природных вод, очень важны, но к сожалению, явление это мало или совершенно не изучено. Приходится поэтому коснуться его здесь явно недостаточно.

Другим свойством природных газов является их химическое соединение с водой при их растворении: в таком соединении всегда, даже в чистой воде, будет находиться CO_2 , которая дает диссоциирующую молекулу H_2CO_3 , распадающуюся на ионы H^{1+} и HCO^{1-} , причем большая часть уголекислоты в чистой воде при атмосферном давлении находится в газовом растворе. При увеличении давления и в присутствии других ионов, в соленых и рассольных водах в особенности, устойчивыми являются карбонаты и бикарбонаты, и свободная угольная кислота в газовом растворе сходит в конце концов на нет.

Три других важных газа, как SO_2 , SO_3 и NH_3 , совсем в газовом растворе в воде не находятся.

543. Таким образом, в водах земной коры, в газовом растворе всегда будут находиться только постоянные газы – N_2 , O_2 и CH_4 . Из них метан, к сожалению, так мало изучен в этом отношении, что его приходится оставить при классификации вод без рассмотрения.

Остаются, таким образом, *азот* и *кислород*, которые позволяют выделить основные *подклассы* вод, причем необходимо и удобно различать в этих подклассах *два ряда* – ряд, где находятся оба газа, и ряд, не содержащий кислорода.

Это деление чрезвычайно важно и удобно, так как сразу определяет характер природных вод. Кислород находится только в водах верхней биосферы. Азот характеризует и воды более глубокие.

Азотный ряд вод без кислорода характеризует все воды ниже биосферы и определенные виды вод биосферы. *Кислородный ряд* характерен только для вод верхней биосферы.

Есть еще *третий ряд* – *уголекислый*, но это воды переходящие, неустойчивые, которые образуются из восходящих, более глубоких слоев вод при разложении ионов HCO_3^{1-} и CO_3^{2-} и перехода их в CO_2 . К сожалению, отсутствие анализов не позволяет нам установить эти воды более точно. Воды уголекислые не содержат кислорода.

Таким образом, в трех рядах только один азот находится во всех, но в некоторых уголекислых водах он сильно уменьшается, является примесью.

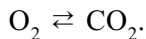
О значении этого явления я буду говорить позже.

Есть еще особый ряд природных вод, который может быть здесь только отмечен. Это воды, заключающие радиоактивные газы, – эманации. Здесь, по-видимому, всегда богатство эманации связано с характером и с движением газов, входящих в воду в той или иной форме, – а не с химией самой воды.

544. Чрезвычайно важен в истории природных вод источник газов, на основании которых устанавливают подклассы.

Основным для биосферы является газовая оболочка планеты, тропосфера, главный резервуар N_2 , O_2 , CO_2 .

В биосфере и во всех природных водах идет резкое изменение газового режима действием жизни, жизнедеятельностью организмов. Организмы создают O_2 , N_2 , CO_2 , CH_4 , H_2S . Они поглощают и переводят в ионы и в соединения эти же газы. Иногда можно установить полный замкнутый цикл создания и исчезновения этих газов под влиянием жизни, например, для



Мы увидим, что газовый режим всех вод биосферы, особенно поверхностных, обуславливается в своих основных чертах жизнью.

Тропосфера и живые организмы – источники свободного кислорода – характеризуют биосферу, но газы попадают в природные воды, в том числе и в воды биосферы, и другим путем – из более глубоких частей земной коры.

545. Источником газов, наблюдаемых в подземных водах или выделяемых в биосферу газовыми струями и газовыми испарениями и позже растворяющихся в водах биосферы, очень часто являются те же вадозные газы тропосферы или газы биогенные. Они вновь возвращаются водами или струями назад в место своего генезиса.

Но есть газы подземных вод, которые явно имеют другое происхождение или так отдаленно связаны с биосферой, что эта связь теряет значение в том аспекте, в каком мы рассматриваем это явление.

Такие газы проявляются в биосфере в подземных атмосферах; мы можем их наблюдать в двух формах выделения из этих атмосфер – в газовых струях и в водных растворах, часто между собой смешанных. Из их изучения мы имеем возможность эмпирически точно заключать о газовом режиме вод за пределами биосферы.

В газовых струях выделяются N_2 , $Щ_2$, CH_4 , He , H_2 , H_2S , CO_2 , CO , Xe , Ne , Kr , C_2H_6 , C_2H_4 , – может быть другие углеводороды, CSO и NH_3 . Эти газы, связаны, по-видимому, с метаморфическими процессами в стратиффере и в верхней метаморфической геосфере. Очень характерно здесь присутствие большого количества углеводородов, что указывает на большее их значение в подклассах подземных пластовых вод, чем мы это сейчас думаем.

Возможно, что сопочные газы примерно того же характера представляют частный случай газовых струй, связаны и с ними и с минеральными источниками.

546. Отдельно надо поставить газовые струи, связанные с магматическими очагами – как с вулканическими фумаролами, так и с послевулканическими процессами.

Здесь можно различить по крайней мере три формы газовых проявлений:

1. Фумарольные – N_2 , O_2 (из тропосферы?), HCl , HF , Cl_2 , F , H_2S , SO_3 , SO_2 , CSO , CO_2 , CH_4 (и другие углеводороды), B_2O_3 (в парах воды – § 534–535), S_2 , H_2 , благородные газы. Ряд летучих металлических соединений, как Cu_2Cl_2 , $PbCl_2$ и т.п., быстро теряет свой газовый характер как при охлаждении, так и при соприкосновении с водой, почему с рассматриваемой точки зрения теряет для нас интерес. Огромное большинство фумарольных газов имеет тот же характер. Остаются N_2 , (O_2 ?), H_2S , CSO , CO_2 , CH_4 , H_2 . благородные газы.

2. Послевулканические струи: N_2 , (O_2), CO_2 , H_2S , CH_4 .

3. Гейзерные струи (§ 534): CO_2 , H_2S , NH_3 , B_2O_3 .

Все эти газы растворяются как в водах биосферы, куда достигают, так и на пути в биосферу в водах глубинных и подземных, которые попадают в биосферу; они и характеризуют *подклассы*.

Все нам известные подклассы подземных вод характеризуют только воды суши. Подземные воды гидросферы нам неизвестны (§ 92), за исключением морских иловых вод.

547. *Семейства* выделяются на основании местонахождения данной воды в земной коре. По существу они обуславливаются *геологическими* и *географическими* причинами, т.е. строением планеты и ее историей, главным образом земной коры, и той диссимметрией в структуре ее, на значение которой указывалось (§ 74 и сл.). В связи с этой диссимметрией резко выявляется географический характер в выделении семейства природных растворов.

С этими, и геологическими и географическими, причинами, благодаря совершенно своеобразному складу физических свойств воды, резко связаны – и проявляются в семействах – *физические состояния* воды и обуславливаемые ими структура и состав природных водных растворов. .

Как уже указывалось (§ 41), два явления здесь особенно имеют значение: распределение физических состояний воды (которое положено мной в основу всей классификации в делении на подгруппы – § 334) и проявление *частичных сил*, которое особенно резко сказывается в водных растворах, когда они входят в контакт с твердым веществом планеты.

Это явление резко выражается в характере семейств и могло бы быть положено в основу крупного деления подгруппы жидких вод на три (может быть четыре) больших резко различных *царства* природных вод. Царства могут быть разделены на *подцарства*, в которых распределяются *семейства*.

Можно сейчас выделить *три царства* (§ 336): *поверхностных вод* (включая и метеорные); *подземных вод* (включая и почвенные воды); *глубинных вод*.

548. В таком делении проявляется чрезвычайно глубокое отличие вод, тесно связанное с диссимметрией земной коры и, вероятно, с общим строением планеты.

Царство поверхностных вод есть *царство вод биосферы*, охватывающее наибольшую массу воды земной коры, всем нам известную, – семейства рек, озер, океана и морей, луж и т.п.

Царство подземных вод является промежуточным между водами биосферы и водами *глубинными*, которые *до биосферы не доходят*. Подземные воды тесно соприкасаются и в своем происхождении и в своем бытии с водами биосферы, лишь постепенно – с углублением – выходя из его влияния. Связь с биосферой является их характерным признаком.

Царство глубинных вод, едва нам известное, отделяется от вод биосферы водами подземными. Оно подходит в своем нижнем основании к границе существования жидкой воды на нашей планете.

549. Жидкая вода может существовать при больших давлениях, которым подвержены подземные и глубинные воды при температурах, превышающих 100°-точку кипения чистой воды на земной поверхности.

По мере углубления на территории материков точка кипения повышается. По исчислениям С. Аррениуса, жидкие растворы могут существовать на глубинах 27–540 м при температуре ниже 185–365°.

Но природная жидкая вода может существовать и при более высокой температуре, чем критическая температура химически чистой воды (364,3°).

Необходимо принимать во внимание не критическую температуру химически чистой воды, а критическую температуру природных водных растворов. Она выше, на сколько – неизвестно. И. Фохт принимает ее примерно на несколько десятков градусов выше – до 425°. Но все эти выводы шатки и требуют экспериментальной проверки.

Если принять температуру в 425° и допустить, что повышение температуры, наблюдаемое нами в биосфере и в верхней стратисфере, продолжается вглубь с тем же темпом, то граница подземных вод будет лежать где-то на глубине, в среднем выше 10 км (около 13–14 км?) (§ 49).

Все эти выводы, однако, проникнуты экстраполяцией, что надо всегда помнить.

Состояния сложного земного вещества под давлениями, исчисляемыми тысячами и десятками тысяч атмосфер, при температурах в сотни и тысячи градусов, нам научно неясны.

Особенно это имеет место по отношению к природным водам. Глубинные воды теснейшим образом связаны с твердым веществом, образуют с ним те своеобразные динамические равновесия, о которых нам приходится всюду говорить. И если можно еще судить о капельножидкой глубинной воде этих равновесий, то о пленочной и гигроскопической их частях мы ничего не знаем и даже для экстраполяции не имеем сколько-нибудь заслуживающих внимания основных данных.

Ведь и капельножидкая и пленочная воды являются *растворами*; это не доказано, но возможно для пленочно-молекулярной воды (§12). Растворы в этих термодинамических полях не изучены. Здесь меняется понятие о фазах, так как для пленочной воды, а тем паче для гигроскопической исчезает газовая фаза при равновесиях при обычной температуре.

Глубинные воды сейчас почти нацело выходят из поля научного зрения.

550. Строение подземных вод представляет целую гамму изменений от резко выраженных капельножидких растворов (минеральные источники, например) до вод, в которых капельножидкая часть отходит на второе место (например, почвенный раствор в сухой почве или волосная вода горных сухих пород).

Основываясь на структуре раствора и на его положении в вертикальном разрезе земной коры, возможно выделить среди царства *подземных пресных вод* следующие подцарства.

1. Подцарство *верхних земных покровов* – пленочные и капельножидкие воды приблизительно равноценны.

Биосфера

2. Подцарство *пластовых вод* – пленочные и капельножидкие воды приблизительно равноценны.

Биосфера и стратисфера

3. Подцарство *подземных водоемов* – капельножидкие воды преобладают.

Биосфера и стратисфера (верхняя?)

4. Подцарство восходящих вод – *минеральные источники, жильные воды, вулканические, гейзерные, сопочные* воды – капельножидкие воды преобладают.

Стратисфера? Метаморфическая геосфера и ниже

5. Подцарство волосных вод горных пород – капельножидких вод нет.

Все геосферы.

На поверхности планеты из подземных вод непосредственно доступны только воды верхних покровов, почвенные растворы, иловые растворы на дне поверхностных водоемов и волосные растворы наземных пород. В общем они образуют сплошную водную оболочку (§ 46). Восходящие воды выходят в немногих точках на земной поверхности. Они связаны с тектоническими ныне идущими или замирающими процессами, с магматическими очагами не позже верхнетретичного возраста (ср. § 299). Если нанести на карту все известные места выходов минеральных источников вулканов, сопок – едва ли много больше 10–20 000 точек (резко преобладают минеральные источники), – то мы получим относительно небольшие области суши, где они расположатся. Эти воды очень быстро изменяются, неустойчивы в условиях биосферы.

Подземные воды, верховодки (родники), воды напорные пластовых и подземных водоемов – в некоторых случаях имеют сообщение с биосферой и выходят на земную поверхность.

Деятельность человека чрезвычайно увеличивает число выходов пластовых вод на земную поверхность; это *буровые воды*, полученные путем бурения, и колодцы.

551. Для подземных вод гораздо большее значение, чем эти выходы их капельножидкой составной части (§ 12), имеет их непосредственная связь с тропосферой и с метеорными водами через почвенные растворы и поверхностные воды.

Как уже было указано, значительная часть этих подземных вод связана, – «питается» – метеорными водами. Это явно для почвенных растворов, но то же самое (в иной форме) существует для пластовых вод и вод подземных водоемов.

«Пластовые воды проникают водопроницаемые породы. Главная масса, воды – или, осторожнее сказать, очень значительная часть их воды – метеорного происхождения, прошедшая тем более долгий путь от земной поверхности, чем глубже лежат водопроницаемые пласты, ее содержащие. В зависимости от положения пластов места проникновения метеорной воды могут лежать очень далеко от места выхода (например, при бурении) пластовой воды. Воды пласта по отношению к данному месту становятся *напорными*, обладают тогда давлением, главным образом гидростатического характера.

Многочисленные вопросы этого рода возникают на каждом шагу при изучении подземных вод этого подцарства. Здесь можно только очень слегка коснуться их, так как химически воды эти изучены чрезвычайно мало.

Третье подцарство изучено еще меньше, и генезис его вод связан с метеорной водой еще более сложным путем.

552. Четвертое подцарство восходящих вод в подавляющей части своих вод прямо не связано с водами метеорными, а косвенная связь очень сложна и редко может быть установлена.

В стратисферу, куда попадают – например, в нижние ее горизонты – эти поднимающиеся воды, они входят уже под большим давлением. Это давление совсем иного происхождения, чем гидростатическое давление пластовых вод. Оно связано с давлением газов, зарождающихся иногда внезапно и быстро при химических реакциях в связи с магматическими очагами, или связано с давлением гравитационным, оказывается следствием часто (может быть всегда) орогенических процессов.

К нам в биосферу эти воды неизбежно должны прийти сильно измененными. Ибо они, обычно на протяжении километров, проходят через стратисферу и биосферу, полных разнообразными водами, и неизбежно смешиваются и изменяются пластовыми водами, которые они пересекают и в свою очередь изменяют.

Сейчас нет возможности в огромном большинстве случаев установить характер основной части этих вод, который в конце концов всегда сведется к горячим водным парам.

Эти пары, занимающие все мельчайшие пустоты земных глубин, сами непрерывно меняют пластовые воды – тем больше, чем температура пластовых горизонтов выше, т.е. чем пластовые воды лежат глубже от земной поверхности. Наши представления об этих областях и этих минералах воды смутны, и научной работой эти явления, можно сказать, не затронуты.

553. Таким образом, нам недоступны неизменные воды, поднимающиеся снизу, и все воды, которые доходят до земной поверхности, превратились в новые образования, изучая которые можно – пока только теоретически – восстановить воды исходные.

Это – задача, к которой должна стремиться наука, но которая сейчас очень далека от решения, даже в первом приближении.

Из всех этих вод наиболее разнообразны и наиболее изучены минеральные источники. По отношению к ним научный, нам доступный материал требует переработки. В имеющихся анализах сейчас трудно отличить минеральные источники, независимые в своем происхождении от пластовых вод, ибо ими часто являются естественные выходы глубоких пластовых горизонтов. Еще больше существует минеральных источников, полученных искусственно – бурением, которые по существу являются пластовыми водами.

Сейчас точно различить их мы не можем. Это дело будущего.

Необходимо помнить, что состав и минеральных источников и пластовых вод есть величина постоянная в том смысле, как это имеет место по отношению ко всем геологическим явлениям. На протяжении 100 лет это проверено и химическими анализами. К указанным примерам (§ 457) можно прибавить еще Кеммери, состав которого неизменен 90 лет (И. Купцис, 1929).

Числа анализов, пределы колебаний, здесь приводимые, должны быть переработаны и уточнены. По-видимому, однако, общая картина коренным образом не изменится.

554. Семейства делятся на *виды, подвиды, разности* на основании химического состава того остатка, который получается после удаления молекул воды, какого бы характера этот остаток ни был (§ 347).

Необходимо иметь в виду при этом, что наше представление о резком преобладании для природных вод в этом остатке ионов и гидратных комплек-

сов, взятое в целом, едва ли правильно; оно связано с преходящим состоянием наших знаний. Гидратные комплексы не введены в характеристику вод.

Глубинные воды должны иметь совсем другой состав, но он не отражается в приводимых таблицах.

Для изучения вод можно отметить основное положение: число ионов компонентов или их групп увеличивается по мере уменьшения концентрации воды, и в то же время в водах уменьшается количество гидратных комплексов. Максимум такого состояния наблюдается для наиболее пресных вод. Обратно, ионизация в рассольных водах наименьшая, и в ней находятся, или, вернее, сказываются в изучаемых явлениях, преимущественно гидратные ассоциации. Вероятно, в них имеют значение комплексы водяных молекул (молекул H_2O – § 181). Однако и для них в некоторых явлениях ионизация обращает на себя наше внимание; например, она сказывается в количестве ионов H^{1+} (§ 198).

Но все это касается только части атомов, сторонних химической молекуле воды, и не всегда эти атомы преобладают.

Точно разделять все разные комплексы атомов мы сейчас не можем, и в исчислении атомов они все соединены вместе.

Поэтому, отличая в таблицах, где возможно, ионы, гидраты, мицеллы, я буду вести классификацию и выделение видов природных вод (минералов воды) на основании валового химического элементарного анализа: по господствующим элементам.

555. Бросается в глаза среди этих элементов прежде всего антагонизм *кальция и натрия*. Ясный для биосферы, он, по-видимому, идет и глубже.

Это связано, по-видимому, с очень глубокими чертами механизма биосферы и, может быть, земной коры.

Преобладание натрия (и хлора) в водах гидросферы и отход в них на второе место кальция (и карбонатного и сульфатного ионов) является характерной чертой, резко отделяющей морские воды от вод пресных и вод континентов вообще, взятых в их совокупности. Это – одно из проявлений основной диссимметрии нашей планеты.

Натровые воды характерны для гидросферы, кальциевые – для суши. Здесь необходимо подчеркнуть некоторые черты этого явления, важные с точки зрения систематики природных вод.

Кальций – самый распространенный органогенный металл. Его главнейшие скопления в биосфере и в стратиффере (и отчасти из них происшедших участков метаморфической геосферы) – известняки, доломиты, гипсы – прямо органогенного или косвенно органогенного (гипсы) происхождения. Это верно для громадного большинства его скоплений. Эти породы – карбонаты и гипсы, – сравнительно легко выщелачиваемые водой и являющиеся в главной массе своей солями кальция – $CaCO_3$ и $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, – распространены очень широко в биосфере. Они легко дают, богатые кальцием и бедные натрием воды как поверхностные, так и верховодки. Мы почти во всех отделах пресных и соленых вод можем проследить это преобладание кальциевых вод в определенных участках биосферы.

В пределах биосферы кальциевые воды тесно связаны с явлениями жизни. В первом приближении выявляется, что натриевые соединения выщела-

чиваются на суше, но сносятся реками в моря; кальциевые же задерживаются в теле организмов и в твердых биогенных продуктах.

Но явление антагонизма натрия и кальция – более глубокое, ибо оно идет далеко за пределы биосферы. Бросается в глаза, что самые глубокие скважины, богатые хлористыми солями, опять дают воды (солёные и рассолы), богатые кальцием и более бедные натрием.

Способность кальциевых солей давать насыщенные растворы при малом количестве ионов кальция и очень большое количество натрия, которое необходимо для того, чтобы получились насыщенные растворы, вызывают в свою очередь обособление в природе кальциевых вод, поглощающих CO_2 , благодаря способности ионов кальция образовывать двууглекислые соли.

Отличие кальциевых вод ясно в классе пресных и очень резко проявляется в классе солёных вод. Оно исчезает в поверхностных рассолах, так как количество ионов кальция, могущих заключаться в воде, в присутствии в ней CO_2 и SO_4 , ограничено и не превосходит $10^{-1}\%$ твердого остатка. Но оно вновь выявляется в глубоких пластовых водах, частью в связи с образованием двууглекислых солей (в слое земной коры с подземной атмосферой, богатой CO_2), а глубже – от неизвестной нам причины с появлением вод $\text{Cl}-\text{Ca}$.

556. Из других элементов, той же второй декады до распространенности в земной коре, алюминий, железо, калий и водород лишь редко являются характерными элементами и определяют виды водных растворов, подобно кальцию и натрию.

О магнии необходимо сказать несколько слов сейчас же. Магний является для солёных и рассольных водных растворов очень характерным элементом, давая многочисленные виды – но почти исключительно в *поверхностных* водах. Он играет более второстепенную роль для вод подземных – пластовых и для вод восходящих.

Получается впечатление об его концентрации в биосфере, поскольку вопрос идет о водных процессах. Его большое содержание в морской воде этому отвечает.

С другой стороны, бросается в глаза бедность магнием группы пресных вод, т.е. редкость их нахождения в господствующей декаде компонентов.

Это связано с большим содержанием углекислоты (и с сравнительно малой растворимостью MgCO_3) в пресных поверхностных водах и с уменьшением магния с глубиной, что сказывается в отходе магния на второе место в господствующих компонентах восходящих вод.

557. Необходимо еще сделать по отношению к приводимым числам следующие оговорки.

Пределы, которые в них указаны, несомненно подвержены еще дальнейшим исправлениям.

Деления на подклассы по газам могут быть сделаны сейчас во многих случаях условно за отсутствием анализов. Это числа предварительные.

Выделение в этих подклассах отдельных минералов – т.е. видов вод – не всегда может быть сделано с большой точностью, так как между ними есть переходы.

Это одинаково относится как к первому, так и ко второму (*солёных вод*) и к третьему классам (*рассолов*).

Нельзя забывать, что эта классификация, как всякая научная классификация, имеет, главным образом, прикладное методологическое значение: она позволяет удобно разбираться и охватывать сложное природное явление. Это – ее основная задача.

Самоцелью она являться не должна, и логически безукоризненное проведение какой бы то ни было классификации естественных тел или явлений приведет всегда к противоречиям и несообразностям.

Научная естественно-историческая классификация должна быть логически связана с *научными эмпирическими обобщениями*, а не с логически неопровержимыми абстрактными построениями.

Корни ее должны лежать в не охватываемой никогда до конца человеческой логикой природе.

Поэтому когда этого будет требовать основная цель – удобный для научной работы охват и диагноз природных вод, – я буду вносить необходимые для этого поправки и изменения, хотя бы строго логический анализ этого, казалось, не допускал.

Классификация есть эмпирическое обобщение, а не математическое или философское идеальное построение.

Этим путем – эмпирически – меняются и принципы классификации. В них вносятся поправки, нужные для удобства работы.

Таких поправок будет вообще немного, и их будет все меньше с ходом исследования, если классификация правильно построена по отношению к основным эмпирическим обобщениям и предмету, ей подлежащие, научно точно, количественно установлены и описаны.

Класс пресных вод

«Многоводный Нил является для них всем: и рекой, и землей, и морем, и болотом, и бывает невиданное зрелище – там можно видеть вместе корабль и мотыгу, весла и соху, руль и серп, пристанище моряков и земледельцев, рыб и быков. По чему ты плыл, ты теперь засеваешь, а что засеваешь – это оказывается море возделываемое. Ведь это река разливается; египтяне сидят, ожидая разлива и считая дни. И Нил не обманывает: он поток, срок соблюдающий и воды отмеряющий, поток, не желающий быть обвиненным в запаздывании. И видеть можно реки и земли соревнования: вода, чтобы превратить столь обширную землю в море, а земля, чтобы вместить столь великое пресное море... Когда же Нил наводнит всю страну, он из нее образует болото; болота же остаются даже после того, как Нил входит в берега, удерживая в себе воду, все же необычные для суши места занимает ил. Если же вода совершенно спадет, пловцы несут лодку на спине, пока не дойдут до воды. В этих болотах очутились рассеянные островки. Одни из них были лишены построек и поросли папирусом. А густые ряды папирусов отстояли друг от друга настолько, что между ними может стать только один человек. Это расстояние защищают сверху листья папируса»...

Ахилл Татий, Левкиппа и Клитонфонт. XII.
Около 1600 лет назад.

558. *Общие замечания.* Эта картина Нила, отвечающая первым векам нашего летоисчисления, рисует огромное воздействие человека на пресные воды суши и не только на воды поверхностные, но и на подземные – раньше, древнее всего на верховодки и на почвенные воды. Но тоже тысячелетия

непрерывной работы человека захватили и изменили и воды пластовые, вплоть до верхней части стратисферы. Это мы должны всегда учитывать, и нигде явление человеческой работы не сказывается так ярко и глубоко, как для царства вод пресных.

Для Нила мы и сейчас дадим ту же картину, которая описана 1600 лет назад; работа ее создания началась раньше появления первой династии фараонов, т.е. за многие столетия, может быть, тысячелетия до 5000 лет от сегодняшнего дня. Еще глубже в древность идет ирригационная работа Месопотамии, сколько можно судить по современным историческим представлениям.

Уже тысячелетия охвачена этой работой более или менее интенсивно вся суша. А с XX столетия неудержимо и глубоко, и со все более усиливающимся темпом, захватываются самые отдаленные уголки суши, где есть поверхностные воды.

559. Класс пресных вод охватывает чрезвычайно важные и распространенные воды суши и атмосферы – биосферы в целом, – но в то же время к нему принадлежит ряд вод горячих источников – термальных вод, так называемых *акротерм*, которые являются представителями восходящих фреатических или ювенильных вод – исходят из стратисферы, и глубже. Проявлением аналогичных акротермам процессов являются и вулканические и гейзерные воды, создающиеся на земной поверхности.

Класс пресных вод, широко охватывая царство поверхностных вод, ярко выражен и для царства подземных вод. Едва ли в царстве глубинных вод мы встретим его представителей. Здесь возможно допустить только существование пресных водяных паров.

Сразу бросается в глаза резкая диссимметрия строения поверхности планеты. Соленая масса океанических вод характеризует гидросферу, пресные воды господствуют на суше, в коре выветривания. По мере углубления в стратисферу концентрация вод все увеличивается, и воды становятся солеными, т.е. процент их твердых компонентов превышает 0,1% по весу. Для подземных вод – в подцарстве вод пластовых – этот переход совершается где-то в пределах немногих сотен метров. К сожалению, мы не можем об этом ясно судить за отсутствием данных.

Принимая во внимание своеобразную структуру подземных вод, в которой, в подцарстве вод пластовых, свойства капельножидких вод отвечают только части массы воды и явления частичных сил морфологически выражены чрезвычайно резко – необходимо отметить, что уже на небольшой глубине эти капельножидкие (гравитационные) составные части системы становятся солеными. Вероятно, пленочные части системы становятся таковыми еще раньше.

Гораздо глубже, может быть глубоко в пределы стратисферы, идут пресные представители подцарства восходящих вод. Некоторые из них, может быть, идут далеко вглубь за пределы двух-трех километров.

Это тесно связано с генезисом обоих подцарств. В то время как пластовые воды в подавляющей части имеют своим источником воду земной поверхности, восходящие воды идут снизу из метаморфической оболочки, может быть, из нижних областей стратисферы.

Наземные воды должны чрезвычайно резко (и закономерно) отражать, географические пояса – не только в их общих чертах, но и в более углубленном подразделении. То явление, которое называется Л.С. Бергом: «ландшафтной зоной»¹ и которое мне кажется лучше называть *геохорой*², как это и он считает возможным (Л.С. Берг, правда в другом смысле), должно на каждом шагу сказываться в химии природных вод. Точно так же, как свои виды живых организмов, каждая геохора будет иметь свои виды природных вод или свои совокупности этих видов. Сейчас выявить это в анализах невозможно.

Это задача будущего, надеюсь, недалекого.

560. Пресные воды могут образовываться в земной коре двумя путями: во-первых, сгущением водяных паров, быть продуктами перегонки и испарения, и во-вторых – вырабатываться из пресных же вод или соленых, теряя растворенные компоненты под влиянием проявления частичных сил – явлениями катафореза, замораживания или им аналогичными.

Первый путь их образования является господствующим, играет во всех наших концепциях исключительную роль и не вызывает сомнений. Второй, по-видимому, приводит к немногим частным явлениям и заключает в себе элемент гипотезы. Его мы прилагаем к объяснению происхождения таких пресных вод, которых существование непонятно с точки зрения их генезиса сгущением водяных паров.

Очень возможно, что значение явлений катафореза и аналогичных гораздо более выражено в природе, чем это мы сейчас предполагаем.

561. *Сгущение водяных паров* идет в земной коре в разных формах, среди которых можно выделить два типа явлений, явно между собой различных. В биосфере это сгущение идет из медленно испаряющейся – перегоняющейся – воды при температурах на многие десятки градусов ниже температуры кипения воды, в гейзерных водах оно идет из перегретого до 140° и больше водяного пара – в акротермах сгущение происходит, по-видимому, из еще более горячего водяного пара.

В тех водах, которые доходят до нас, мы не часто имеем указания на очень горячие воды – может быть вследствие того, что это воды неизбежно смешивающиеся с более холодной водой, когда они приближаются к выходу на поверхность. На глубинах, близких к 13–15 км, температура достигает критической точки для водных растворов.

Нельзя думать, чтобы горячие источники несли воду только атмосферного происхождения. Ниже я вернусь к этому явлению, здесь же отмечу только одну характерную черту. Воды стратисферы, ее более нагретых нижних слоев, являются уже солеными. Для того, чтобы пресные воды сохранили свою концентрацию, необходимо, чтобы они быстро дошли до горячих слоев зем-

¹ Недопустимый, мне кажется, германизм «ландшафтная зона» не должен вводиться в русский научный язык. Его не примут ни французы, ни англичане. Это чувствовал и Пенк, вводя название «хора» вместо «ландшафта». Л.С. Берг, правильно создавая новое понятие, которое я горячо приветствую, неправильно его называет. Вместо «пояс хор» лучше взять «геохора» – «ландшафтная зона», или «ландшафтный пояс», по аналогии с геосферами. Мне кажется, что идеи А. Гумбольдта были очень близки к важным и интересным идеям Л.С. Берга.

² Л.С. Берг хотел заменить хору геохорой. Не лучше ли сохранить хору и называть геохорой «ландшафтную зону»?

ной коры – до метаморфической области – и чтобы они недолго там оставались. Это два условия, довольно мало вероятные, судя по тому, что мы знаем о механизме земной коры.

Приходится допустить существование горячих паров воды, поднимающихся снизу и сгущающихся в жидкие массы, немедленно превращаясь в растворы, в более близких к земной поверхности участках планеты. Существование таких паров наблюдается в разных местах в виде гейзерных перегретых паров (§ 534) и образовавшихся из них гейзерных вод. Акротермы являются проявлением глубинных форм, аналогичных гейзерным скоплениям водяных паров (это не аналоги фумарол, как часто думают).

562. Несколько слов надо сказать о втором типе генезиса пресных вод – об образовании их частичными силами. Обычно существование этих явлений совершенно упускается и оставляется без рассмотрения.

Однако мы имеем точные наблюдения, которые, мне кажется, не могут быть объяснены сгущением паров в природных условиях или указывают на особого типа сгущения, не принимаемые во внимание и трудно сейчас для нас представляемые.

Сюда относятся прежде всего некоторые *вадозные воды исключительной чистоты*, совершенно не дающие при испарении осадка и вполне отвечающие обычной дистиллированной воде лабораторий. Не только практически, но и *химически* они должны быть рассматриваемы как *химически чистая вода*.

Такие воды констатированы точными наблюдениями, и, мне кажется, факт их существования не может быть оспариваем (ср. § 209–210). К. Бишоф указывает источник, выходящий ниже Гейдельберга из красных песчаников, вода которого не давала никакого осадка ни от одной реакции (и с AgNO_3 в том числе) и никакого осадка при испарении. В лаборатории нельзя было приготовить более чистой воды. На такую же воду указывает И.Н. Фукс в нескольких местах из Тюрингенского леса (холодная вода из кристаллических пород). Такие же источники указаны в Северной Америке. Такие воды уже знал А. Лавуазье¹. Он указывал их нахождение среди высокогорных вод в областях силикатовых пород (состоящих из «*matières refractaires et vitrifiables*»). Такие воды в Вогезах не содержат Na и SO_4 , абсолютно чисты и не отличимы от дистиллированной воды.

По-видимому, этого типа воды не редки, но на них не обращали внимания новые исследователи, они просто о них умалчивают.

Эти воды – вероятно разного происхождения – занимают определенные области в биосфере.

Частью это воды среди кристаллических пород, в горах, как это уже заметил Лавуазье. Таковы, например, воды Тюрингенского леса. Здесь указываются воды, которые дают следы хлора и органических веществ только при выпаривании нескольких килограммов воды (9 кг для Эльсбурга по Шмидту, 1855, *т.е. твердый осадок порядка* $10^{-6}\%$ вес.).

Другой областью таких химически почти чистых вод должны быть дождевые воды высоких гор, выше снежной линии. Здесь должна исчезать пылевая атмосфера земли, и только ветры могут в ослабленной степени приносить

¹ Его указания напечатаны впервые в 1865 г.

снизу растворимую пыль (NaCl, Na₂SO₄ и т.п.). Анализы этих дождей и снегов мне неизвестны. Вероятно, и они дадут солевой остаток порядка 10⁻⁶%¹.

563. Причины образования этих вод, по-видимому, довольно сложные. Они, с одной стороны, связаны, как мы видим, с физико-географическими условиями, но с другой – как с проявлением частичных сил воды, вызывающих удаление из нее растворенных твердых компонентов, так, по-видимому, и с аналогичным действием жизни.

Прямым испарением в условиях земной коры получить химически чистую воду нельзя, так как есть такие вещества, которые летят и испаряются, переходят в пар вместе с молекулами воды. Затем в атмосфере они при сгущении в тучи и туманы неизбежно захватывают (растворяют) там находящиеся газообразные или пылевые вещества.

Этим путем не получают воды с меньшим остатком, чем 10⁻⁴% вес.

Многочисленное испарение мало изменяет дело. Такие случаи наблюдаются в биосфере, например, в явлениях так называемой «внутренней росы»; ее полные анализы неизвестны, но имеющиеся пробы не дают отличия от обычных пресных вод. Явление, впрочем, требует проверки.

Едва ли можно ждать очищения пресных фреатических и вулканических вод многократным испарением, ибо при высокой температуре, им свойственной, и сложности химической среды, где они выделяются, надо ждать увеличения количества разнообразных компонентов, дистиллирующих вместе с парами воды.

Оставляя область этих вод, нам менее известных, «химически чистые» воды в биосфере, нам известные, могут образоваться, насколько можно судить, главным образом двумя путями: 1) *вымораживанием* и 2) *коллоидным катафорезом*.

При повторном, многократном *вымораживании* бедных компонентами пресных вод должны получаться как раз воды такого порядка, 10⁻⁶% остатка и ниже.

На высоких горах, далеко от океана (отсутствие хлора в воздухе) среди снежных областей надо ждать их существования.

Другой причиной должно быть выпадение ионов воды при выделении гелей – кремневой кислоты в первую голову, – связанном с явлениями *катафореза*. Эти процессы сейчас начинают вводиться в практику для получения в наших лабораториях воды, более чистой, чем дистиллированная. Вероятно, этим вызвано в значительной мере (может быть совместно с вымораживанием) появление вод, указанных выше в § 562.

Явление химически чистых родниковых вод заслуживает серьезного исследования, и это объяснение, которое здесь приводится, требует еще уточнения и проверки².

564. Сгущение водяных паров, какого бы то ни было происхождения, резко отражается на той газовой среде, в которой оно происходит, так как газы

¹ Как далеко идет вверх NaCl? Пылевая атмосфера, к которой он принадлежит, кончается между 2–5 км от земной поверхности. Как заметил Тингри (1808), воды ручьев от таяния ледников исключительны по чистоте.

² Эти явления должны иметь место в области наземных коллоидных вод, связанных с поверхностным выветриванием. Вся эта область недостаточно изучена. Эти воды могут быть вредными для жизни.

различно растворяются в водах. Поэтому газовая среда меняется в своем составе при образовании в ней жидкой воды – при превращении водяных паров в жидкость, при их сгущении.

Но не только тропосфера и подземные атмосферы, находящиеся в динамическом равновесии с водами, являются источниками их газов, разных для разных вод.

Яркое отражение в газовом составе воды подземных атмосфер еще недостаточно учтено научной мыслью; с ним мы имеем дело на каждом шагу при изучении природных вод. Но помимо этого есть и другой источник находящихся в водах газов – это движения газовых масс – будут ли то струи, испарения в атмосферу или газы, создаваемые химическими реакциями в воде. Это явление очень резко сказывается в свободно выделяющихся газах (§ 224), в истории радиоактивных газов (эманациях).

Для пресных поверхностных вод биосферы характерно большее растворение в них кислорода по сравнению с азотом. Отношение $N_2 : O_2$ в воздухе по весу равно при 0° –3,25, а в пресной воде – 1,90. Таким образом, всякое сгущение паров воды резко отражается на составе воздуха. Обратный процесс наблюдается при переходе пресных вод в снег: выделенные газы богаче кислородом, чем окружающий воздух.

Пресные водяные пары при сгущении в биосфере дают *азотно-кислородные* воды.

Воды такого рода получаются и из восходящих пресных подземных вод, до выхода в биосферу не заключающих кислорода, – подкласса азотных вод. Все такие акротермы, сопочные, вулканические и гейзерные воды, входя в биосферу и соприкасаясь с атмосферой (тропосферой), *жадно поглощают кислород* из воздуха, часто не трогая его азота. Значение этого процесса нами не учтено, но, очевидно, не может быть оставлено без внимания в геохимии планеты.

В обоих случаях получают азотно-кислородные подклассы, причем для акротерм и гейзеро-вулканических вод могут образовываться виды природных вод, неустойчивые в биосфере и только временно в ней существующие.

565. В связи с этим удобно разделить класс пресных вод – как и все остальные классы – на *два ряда*: 1) воды, содержащие кислород, – *кислородный ряд* и 2) воды, его не содержащие, – *азотный* (и, может быть, *углекислый*) ряд.

Само собой ясно, что *первый ряд* характеризует поверхностные воды и сходит на нет более или менее быстро для подземных вод. В глубинных водах и в огромном большинстве вод подземных он совершенно отсутствует.

Всякая подземная вода, входя в тропосферу, дает – устойчивую или неустойчивую – воду *первого ряда*.

Производя бурение и выводя на земную поверхность воды, никогда на ней не бывшие, – человек создает неизбежно новый ряд вод, до него не существовавших, и создает новый процесс, до него не бывший, – поглощение свободного кислорода, ухода его из тропосферы.

566. Дальше вглубь наши сведения о газовой среде, проникающей природные воды, становятся менее точными. И вместе с тем мы подходим здесь к вопросам огромного значения с общей геологической точки зрения.

Проникают ли газы все вещество нашей планеты или же они являются принадлежностью исключительно поверхностной ее части – *земной коры*?

Дальше нее мы находимся уже совсем в области неизвестного. Сейчас правильнее будет при современном состоянии знаний признать, что наши понятия о физическом состоянии вещества останавливаются на границе этой коры, ибо на глубине около 60 км давление становится таким, что физические свойства вещества разных фаз неразличимы, грани между ними исчезают и в то же время некоторые (механические) свойства этих глубин скорее схожи со свойствами твердого, чем газообразного тела.

Для природных пресных вод нам не приходится иметь дело с такими глубинами. Предел существования жидкой воды гораздо более близок к поверхности (§ 549).

Но ввиду часто высказываемого представления о притоке «ювенильных» газов из-за пределов земной коры важно это не забывать.

Сейчас вопрос идет о газовой атмосфере ближайших к биосфере 6–10 км, самое большее.

567. После исчезновения кислорода два газа выступают в подземных атмосферах на первое место – *углекислота* и *азот*. Мы сразу – из-за недостатка точных данных – здесь останавливаемся. Образуются ли углекислоазотные, углекислые или же азотные воды? И как изменяется это соотношение с глубиной?

Можно только – с большими оговорками – оттенить некоторые, как будто выясняющиеся правильности.

Как будто для более глубоких пластовых вод, т.е. для вод стратисферы мы имеем воды *углекислые* и *углекислоазотные* (азотные менее точно установлены?). *Азотные* воды, выходящие в биосферу, приходят в нее в форме минеральных жил. Как будто *азот* в значительной части или идет из более глубоких частей земной коры или же проникает из атмосферы (тропосферы) в более глубокие атмосферы, чем углекислота.

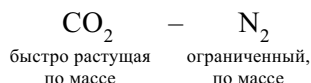
Углекислота является в пластовых водах в подавляющей, по массе своей, части продуктом жизни. Как будто есть непрерывный переход:

углекислота почвенных вод → углекислота вод стратисферы.

Можно думать, что та почвенная и подпочвенная атмосфера, которая богата углекислотой и иногда (всегда?) может быть названа углекислой (больше 80–90% CO_2), продолжается на некоторую глубину.

Несомненно есть другой ее – непрерывный – источник в метаморфических областях, благодаря разложению карбонатов (почти всегда биогенных продуктов) и переходу их в силикаты и алюмосиликаты. Это видно из выделения вулканической углекислоты и из существования термальных углекислых источников.

В углекислых водах стратисферы уменьшение азота, проникающего из тропосферы, может являться следствием интенсивного биогенного создания углекислоты в биосфере. Парциальное давление азота будет уменьшаться вследствие того, что вместо газовой среды $\text{CO}_2\text{--N}_2\text{--O}_2$ поверхностных вод биосферы образуется газовая среда:



переходящая неизбежно в среду CO_2 с примесью азота.

568. Но азот попадает в стратисферу сверху и другим путем, помимо водных растворов, спускающихся в нее из биосферы.

Существует совершенно неизученная воздушная циркуляция газов тропосферы, по-видимому, глубоко проникающая в стратисферу. Этим объясняется существование особых вод углекисло-азотных, по-видимому, всегда содержащих свободный кислород и попадающих в стратисферу, минуя подземные, почвенные и грунтовые воды, биогенно его захватывающие.

Возможно поэтому, что азот глубоких вод является азотом такого вадозного происхождения, увеличивающимся в своем содержании вследствие уменьшения темпа процессов углекислоты синтеза, связанного с аэробной и анаэробной жизнью биосферы.

Однако возможен и азот, идущий из земных глубин.

Может быть на это указывает колебание отношения азот : благородные газы, устанавливаемые В.Г. Хлопиным (1930) для газовых выделений минеральных источников с разным количеством благородных газов в газовых струях.

Азот глубинный будет беден этими газами или их совсем содержать не будет.

Это выяснят исследования в ближайшие годы.

569. Количество подклассов, основанное на газовых компонентах, может быть пока представлено неполно из-за недостатка анализов.

Для *первого ряда* несомненно существуют следующие:

- I. N_2-O_2
- II. $N_2-O_2-CO_2$
- III. $N_2-CO_3-O_2$
- IV. $N_2-CO_2-O_2-H_2S$
- V. $N_2-O_2-CO_2-H_2S$
- VI. $CO_2-N_2-O_2-H_2S$
- VII. $N_2-O_2-CO_2-CH_4$
- VIII. $N_2-CO_2-O_2-CH_4$

Для *второго ряда*:

- IX. N_2
- X. CO_2
- XI. N_2-CO_2
- XII. CO_2-N_2
- XIII. $N_2-CO_2-H_2S$
- XIV. N_2-H_2S
- XV. N_2-CO_2 – углеводороды¹.

¹ Вероятно, есть $N_2-CO_2-CH_4$ и N_2-CO_2 – тяжелые углеводороды.

Для поверхностных вод преобладает первый ряд, для подземных вод – второй ряд, причем для подцарства восходящих вод – исключительно. Он же только существует и для глубинных вод.

Для волосных вод, проникающих минералы и горные породы, существуют – в биосфере (и в верхней стратисфере?) – пресные воды первого ряда, но вся область нахождения газов и вод в тех случаях, где этого можно ждать – в осадочных и в обломочных породах – так мало изучена, что утверждать этого мы не можем.

Совершенно ясно, что наши современные представления о подклассах вод претерпят серьезные и значительные изменения, как только химический анализ растворенных газов получит широкое применение. Многое изменится еще и потому, что среди растворенных газов найдутся вероятно газы, совсем не учитываемые, как тиоуглекислота, этан, бутан, пропан. Роль и значение

углеводородов вообще, вероятно, окажется гораздо значительнее, чем мы это сейчас думаем. Возможно, они идут в водах глубже других газов.

570. Подклассы пресных вод группируются в *царства* и *подцарства* на основании геологического признака – положения вод в разрезе планеты (ср. § 343). Для пресных вод можно выделить семь подцарств, причем их подразделением будут *семейства* и *виды*. При дальнейшем углублении в историю природных вод будут выделены многочисленные новые члены.

Как уже указано, можно различить для пресных вод два *царства*: поверхностные и подземные воды. Для поверхностных вод можно различать *два подцарства*: воды *тропосферы* и воды *наземные* (ср. § 366). Для царства подземных вод можно отличить пять подцарств: вод *верхних земных покровов*, *пластовых вод*, *вод подземных водовместительниц*, *восходящих вод*, *волосных вод горных пород*.

571. В пределах семейств выделяются *виды* и *подвиды* на основании господствующих по весу компонентов, главным образом растворенных твердых тел – для пресных вод на *основании преобладающих ионов (и может быть рассеянных атомов)*.

Для пресных вод по весу для отдельных компонентов растворенных твердых веществ это всегда очень характерно, что они составляют небольшие части – от 10^{-18} до $10^{-2}\%$.

Эти небольшие на первый взгляд числа имеют огромное значение. Хотя количество ни одного элемента не может превысить сотые доли процента по весу (порядок $10^{-2}\%$) пресной воды – мы не должны забывать, что эти ничтожные доли сторонних элементов поддерживают всю жизнь суши – значительную долю жизни наземных организмов и всех организмов пресноводных бассейнов. В каждую данную минуту в биосфере находятся в таком состоянии количества вещества, равные по весу порядку 10^{19} , т.е. десяткам квинтильонов граммов (десяткам триллионов тонн), по крайней мере.

Среди этих элементов преобладают газы¹: O_2 , N_2 , CO_2 , CH_4 , H_2S и ионы Cl^{-} , Na^{+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} – реже мицеллы SiO_2 , органические вещества (богатые C–O–N) и иногда мути, например, коллоидная сера.

Наибольшее значение в конце концов имеют газы, определяющие нижнюю границу стороннего вещества: их количество никогда не спускается ниже $10^{-3}\%$ по весу, тогда как количество элементов (и ионов) спускается до $n \cdot 10^{-18}\%$. Ясно видно, что это последнее число выражает только состояние нашей количественной методики работы и в действительности есть меньшие массы водных компонентов, закономерно меняющие свойства воды, но нами пока не улавливаемые.

История каждого компонента – каков бы он ни был количественно и качественно – не случайна и должна быть при изучении вод установлена. Только при этом могут быть выведены столь необходимые сейчас геохимические законности. Надо отметить, что среди пресных вод могут быть неустойчивые равновесия, когда количество газов достигает порядка $n \cdot 10^{-2}\%$. К сожалению, эти случаи плохо изучены и требуют подтверждения: это наблюдается для биогенного кислорода (§ 220), для углекислоты дождей и туманов. Вероятно, мы имеем здесь дело с газовым раствором и тончайшей эмульсией того же газа. Необходимы исследования.

¹ Количество их для акротерм доходит до $n \cdot 10^{-1}\%$ (§ 188).

572. Среди всех компонентов вод наибольшее значение имеют, как мы видели, газы, на основании нахождения которых строятся подклассы – крупные черты классификации.

Газы попадают в верхние кислородные воды тремя путями: захватываются водами из тропосферы или идут из глубин земной коры, или же создаются в пресных водах.

На этом последнем процессе необходимо остановиться, так как он, очевидно, является характерным показателем химии пресных вод – их истории.

Газы создаются в пресных водах в подавляющей, если не в исключительной мере, биогенным путем, являются проявлением жизни вод. Они могут быть чисто биохимическими продуктами жизненного процесса и продуктами отброса жизненных продуктов, причем и в этом случае грибная и бактериальная микрофлора является источником создания газов.

В пределах наземных пресных вод, мне кажется, нет реакций, где бы создание в них газов было бы независимо от явлений жизни, кроме процессов замерзания и таяния воды, меняющих отношение пресных вод к газам тропосферы. Но, очевидно, это процессы не химического порядка.

Биогенно могут создаваться в природной воде все газы пресных вод, биогенно они могут в ней и потребляться – O_2 , N_2 , CH_4 , H_2S , CO_2 . Особенное значение приобретают процессы, связанные с углекислотой.

Метан и сероводород свойственны, по крайней мере характерны, для многих вод; азот, углекислота и кислород чрезвычайно распространены; азот даже находится всегда.

Но среди всех них по глубокому влиянию на структуру пресных природных вод на их химию выявляется углекислый газ. По количеству углекислоты удобно выделить два *подряда пресных кислородных вод* – бедный и богатый углекислотой.

Между ними есть переходы. Как только в пресных водах расцветает жизнь и увеличивается их концентрация, значение углекислоты увеличивается. Первый ее источник – тропосфера: здесь ее количество равно $3-7 \cdot 10^{-2}\%$ ¹. В дождевой воде это количество по отношению к растворенному воздуху уже равняется 2,1–2,9%, а выраженное в процентах веса воды исчисляется числами до $2,5 \cdot 10^{-4}\%$.

Эти числа быстро увеличиваются в такого рода находениях воды, в которых увеличивается или концентрация солей воды или концентрация в них жизни. Концентрация солей для *пресных вод* в указанных ниже пределах мало сказывается на режиме CO_2 . Для пресной воды накопление углекислоты создается жизнью и живые организмы берут ее первым делом из тропосферы, в значительной части из самих пресных вод.

573. Характер изменения газового состава воды разного происхождения и влияния на него жизни виден из следующих средних чисел, приводимых Торпом на основании точных химических анализов (I–V) и чисел для океана (VI). Анализы выражены мной в вес. % воды:

¹ Надо принимать во внимание максимальные числа, ибо разные слои воздуха различно богаты углекислотой. Воды, находящиеся среди лесных массивов, поемных лугов, луж и т.п., получают из воздуха гораздо больше углекислоты, чем озера снежных полей или горных вершин.

	N ₂	O ₂	CO ₂
I. Дождевая вода	1,6 · 10 ⁻³⁰ %	9,2 · 10 ⁻⁴⁰ %	2,6 · 10 ⁻⁴⁰ %
II. Горные источники	1,8 · 10 ⁻³	1,0 · 10 ⁻³	5,5 · 10 ⁻⁴
III. Горное озеро (Loch Katrine)	2,1 · 10 ⁻³	1,0 · 10 ⁻³	2,2 · 10 ⁻⁴
IV. Темза ¹	1,6 · 10 ⁻³	8,4 · 10 ⁻⁴	7,8 · 10 ⁻³
V. Артезианская вода из известковых пластов	2,4 · 10 ⁻³	4,0 · 10 ⁻⁵	1,1 · 10 ⁻²
VI. Гидросфера	2,3 · 10 ⁻³	1,4 · 10 ⁻³	3,6–5,3 · 10 ⁻³

¹ Среднее для рек: (примерно) N₂ 3,7 · 10⁻³% вес
O₂ 1,4 · 10⁻³
CO₂ 4,4 · 10⁻³

Числа углекислоты для океана, несомненно, значительно больше и, может быть, в среднем окажутся близкими к порядку 10⁻²%, если учесть и углекислоту полусвязанную. Углекислый подкласс этой воды, таким образом, выступает еще более резко.

Числа для Темзы дают излишек углекислоты. Обычно принимают (например, Д.И. Менделеев), что в литре речной воды заключается 50 см³ газов, из них 20 см³ N₂, CO₂, а 10 см³ O₂. Это дает числа:

CO ₂	3,9 · 10 ⁻³
N ₂	2,5 · 10 ⁻³
O ₂	1,4 · 10 ⁻³

Можно ясно видеть, что в биосфере CO₂ быстро становится на первое место и определяет характер природных вод. Однако она столь же быстро при этом теряет свойства кислого газового раствора и дает ионы CO₃²⁻ и HCO₃¹⁻ (щелочной раствор): образующие сложные равновесия (§ 241).

Может, быть выгодно по углекислоте для пресных вод выделить не два, а *три* подряда кислородноазотных вод – *бедных, богатых и промежуточных по углекислоте*. Свойства и история этих вод очень различны, и переходы между ними далеко не так часты, как логически, казалось бы, на первый взгляд должно было это случаться.

Переходя к обзору наших сведений о химическом составе природных пресных вод, необходимо считаться с чрезвычайной их недостаточностью.

Фрагментарность наших знаний чрезвычайно сказывается и в недостаточности и неполноте количественных химических анализов.

574. Поверхностные воды. Начну рассмотрение с поверхностных вод.

Для вод тропосферы мы имеем непрерывное динамическое равновесие того же вида, какой наблюдается для паров; это их осадки, тучи и т.п.

Вода почти несомненно находится за пределами тропосферы – в стратосфере и, очень возможно, идет и дальше вверх – в область ионосферы. Так называемые серебристые облака, на высотах более 80 км, являются, возможно, водными скоплениями, может быть даже с жидкой водой.

Реально известны лишь воды тропосферы. Преобладает здесь вода подкласса N₂-O₂, богатая кислородом, бедная CO₂, не вносимая мной в подкласс N₂-O₂-CO₂.

Характерным и неизменным для всех атмосферных вод тропосферы является *присутствие кислорода*.

Можно выделить несколько *семейств*, сюда относящихся; таковы: 1) *дождевые* воды, 2) воды *облаков* (туч), 3) воды *туманов*, 4) воды от таяния *снега*, 5) воды *роса*ные, 6) воды *углекислые*.

Возможно, что жидкая вода, независимая от тропосферы, вновь появляется и образует облака в верхней – теплой, по-видимому, – части стратосферы. Может быть, в ней не только углекислота, но и кислород отходит на второй план (перламутровые и серебристые облака?).

575. Химически наиболее изучены воды *дождевые*. Они почти, а может быть и вполне, идентичны с водой туч и облаков, из которых они образуются. Однако было бы неправильным соединять их в один вид, ибо и морфологически и физико-географически они совсем различны, и положение их в химической среде биосферы совсем иное.

Тучи обычно состоят из капель размеров в $1,6 \cdot 10^{-2}$ см до $3,0 \cdot 10^{-4}$ см (по Келеру); едва ли есть капли порядка меньше 10^{-4} см. Капли уже не являются водой химически чистой. Капли сгущаются не только вокруг пыли, но и вокруг гигроскопических веществ, каковыми могут являться хлористые соединения кальция и магния. Неясно, как эти мельчайшие капельки захватывают газы. Насколько я знаю, соответствующие опыты отсутствуют, а между тем свойства этих тел резко меняются в зависимости от размеров. Так, частицы меньше $3,0 \cdot 10^{-3}$ см диаметром не замерзают в условиях тропосферы.

Капли дождя значительно больше – в пределах $5 \cdot 10^{-2}$ см– $5 \cdot 10^{-1}$ см; их вес не больше $1,4 \cdot 10^{-1}$ г; обычный дождь наших широт $6,5 \cdot 10^{-2}$ г (данные Ганна и Зюринга, 1926).

Здесь идет обычный химический процесс растворения газов и пыли.

576. В общем все же дождевая вода отличается значительной чистотой по сравнению с обычной вадозной пресной водой. Это отличие тесно связано, как мы теперь видим, с тем, что в дождевой воде отсутствует жизнь, меняющая химический характер пресной воды суши.

Относительная чистота дождевой воды, особенно когда она была перехвачена до ее соприкосновения с поверхностью суши (т.е. чистота *воды туч*), была установлена и подчеркнута в конце XVIII столетия А. Лавуазье.

С тех пор состав дождевой воды культурных стран изменился. Здесь сказывается чрезвычайное влияние культуры – главным образом каменноугольного и бурогоугольного отопления и химической промышленности. Так, значительная часть серы в виде SO_3 и SO_4 связана с горением угля; медь и цинк наблюдаются в растворе в дождевых водах, достигая местами очень больших величин, например, по Фрейтагу, около цинковой фабрики Борбек у Эссена в дожде (1868 г.) находилось до $1,49 \cdot 10^{-2}\%$ ZnSO_4 . С ходом цивилизации меняется состав дождевых вод, меняются основы главного – Галлеевского – равновесия (§ 409) природной воды. Вероятно, через немного поколений влияние этого изменения скажется в природных процессах. Эти культурные изменения по возможности не приняты во внимание, в тех случаях, когда ясно, что они представляют *местное явление*.

Известен состав воды только той, которая проходит через пылевую атмосферу; пыль проникает с поверхности планеты. Верхняя ее граница лежит ниже высоких гор, не превышает 3–5 км от земной поверхности. Едва ли

пыль подымается над величайшими горами – и дождевая вода, падающая на больших горных вершинах, должна иметь иной состав, если только тучи не поднялись снизу. Анализы таких вод мне неизвестны.

Состав дождевой воды определяется: 1) растворимой частью пыли, частью подымаемой испарением и ветром, частью выделяемой в атмосферу вулканическими, сопочными, фумарольными процессами, 2) газообразными продуктами того же происхождения или создаваемыми во время процессов в атмосфере (например SO_3 из H_2S или окислы азота), 3) твердыми продуктами, создаваемыми в атмосфере (например аммиачные соли), 4) радиоактивным распадом (в дождях и снегах заключаются главным образом не эманации – радон, торон и актинон, а продукты их распада).

В общем состав дождевой воды в среднем колеблется около некоторого равновесия; однако отдельные крупные события, вроде больших вулканических извержений, могут вызывать его изменение, непрерывно уравнивающееся. Состав в конце концов возвращается к исходному.

По-видимому, этот состав не менялся в течение геологического времени (до психозойской эры – § 69, 133).

577. Характерна роль азотных соединений в тесной связи с тем, что атмосфера является областью, где элементарный азот непрерывно входит в соединения, давая кислородные и аммиачные соединения.

Возможно, что часть элементарного состава метеорных вод имеет космическое происхождение – в связи с падением метеоритов, космической пыли и падающих звезд. Эти тончайшие пришельцы в нашу атмосферу медленно попадают в область туч и туманов. Через них идут в биосферу.

578. Количество газов в дождевой воде колеблется в связи с состоянием окружающей атмосферы и не вполне совпадает с вычисленными на основании ее температурой и давлением. В литре дождевой воды наблюдается от 6,28 до 10,87 см³ кислорода.

Несомненно уже в самой атмосфере идут изменения газового состава воды; так, по опытам Жерардена (1872–1875), количество кислорода уменьшается в дождевой воде, выпавшей внизу из той же самой тучи, по сравнению с его содержанием в ее дожде, выпавшем на высотах. Он объяснял это тем, что часть кислорода пошла на окисление органических веществ, находящихся в нижних слоях тропосферы.

579. Мы имеем значительное количество химических анализов *дождевых вод* из разных мест земного шара, но анализов неполных, так что только для немногих компонентов возможно дать более или менее ясную картину их количественного состава.

Одной из очередных задач геохимии, требующей международного соглашения, является организация систематических количественных анализов метеорных вод. Состав метеорной воды – такая же основная константа геохимии, как и состав океанической воды.

Колебания *состава дождевых вод*, т.е. состава сторонних в них элементов по сравнению с химически чистой водой H_2O , видны из следующей таблицы¹:

¹ Химический состав здесь и дальше выражен так, что состав воды не принят во внимание. Больше 99,995% дождевой воды отвечает формуле H_2O .

Химический состав дождевых вод, вес. %
(Остаток химических элементов,
отличающих дождевые воды от химически чистой воды.)

<i>Плотный остаток</i> ¹	$4,8 \cdot 10^{-2} - 8,0 \cdot 10^{-5}$
<i>Среднее</i> ²	$3,4 \cdot 10^{-3}$
<i>Элементы</i> ³	
C^4 $2,2 \cdot 10^{-2} - 2,1 \cdot 10^{-6}$	H^{11} $2,0 \cdot 10^{-4} - 4,0 \cdot 10^{-6}$
Na^5 $2,6 \cdot 10^{-2} - 7,9 \cdot 10^{-7}$	Mg $1,3 \cdot 10^{-4} - 1,3 \cdot 10^{-6}$
O^6 $1,0 \cdot 10^{-2} - 2,0 \cdot 10^{-3}$	Ar^{12} $4,0 \cdot 10^{-5} - 7,5 \cdot 10^{-5}$
N^7 $9,0 \cdot 10^{-3} - 1,4 \cdot 10^{-3}$	P $3,9 \cdot 10^{-5} - 3,9 \cdot 10^{-6}$ и меньше?
Ca^8 $5,4 \cdot 10^{-3} - 6,0 \cdot 10^{-5}$	Fe $1,8 \cdot 10^{-5} - 2,1 \cdot 10^{-7}$ и меньше?
S^9 $2,9 \cdot 10^{-3} - 5,4 \cdot 10^{-7}$	I^{13} $7,9 \cdot 10^{-6} - 9,1 \cdot 10^{-9}$
Ca^{10} $5,0 \cdot 10^{-4} - 1,0 \cdot 10^{-5}$	As $2,0 \cdot 10^{-6} - 0?$

Следы Br, Ra¹⁴, Rn, Ne, Kr, Xe, He, Mn, Ni.

¹ Плотный остаток не отвечает сумме всех элементов дождя, так как в него не входят газовые компоненты воды, которые включены в состав дождевой воды. Важно определять его систематически для отдельных дождей. Минимум наверно меньше этого числа – месячного, данного Брандесом (1825).

² Это не есть точное среднее и оно относится лишь к водам Западной Европы и Северной Америки. Я привожу здесь число, принятое Меллором в его химии (1922). В него не включены числа для больших городов, которые отражаются очень сильно в тех максимумах и минимумах, которые приводятся для отдельных элементов. В 1874 г. правительственная комиссия по изучению загрязнения рек в Англии дала 3,95 · 10⁻³%, как среднее для Англии.

³ Расположены по декадам весовых процентов в убывающем порядке.

⁴ Максимальное число (Ротамстид) связано с близостью к морю. Обычно максимум не очень превышает 5,0 · 10⁻³%. Есть случаи (Ротамстид) до 5,7 · 10⁻²% Cl. Среднее для Англии 2,2 · 10⁻⁴% Cl по А. Смитю (А. Smith, 1874). Дальтон (1822) считал максимумом 2,0 · 10⁻² NaCl.

⁵ Максимальное число исключительное. Максимум обычно близок к 2,2 · 10⁻³%. Есть определения до 3,8 · 10⁻²% Na.

⁶ Кислород входит (свободный) в газовом растворе в количествах порядка 3,6 · 10⁻⁴–1,0 · 10⁻³%, в форме CO₂ порядка до 1,3 · 10⁻³%, обычно 2,6 · 10⁻⁴ в форме ионов SO₄²⁻ порядка 8,8 · 10⁻³–1,6 · 10⁻⁶%, NO₃¹⁻ 3,6 · 10⁻³%.

⁷ Азот в виде свободного азота в газовом растворе до 2,5 · 10⁻³%, (обычно 1,5 · 10⁻³%). В виде ионов NO₃¹⁻ до 3,6 · 10⁻³%, ионов NH₄¹⁺ до 1,6 · 10⁻³%, в органическом веществе до 5 · 10⁻³%. Может быть азот перейдет в следующую высшую декаду. Органический азот до 1,4 · 10⁻³%. NO₂ до 3,2 · 10⁻⁶%.

⁸ Не принято во внимание органическое вещество. Большие числа порядка 10⁻³% связаны с влиянием человеческой культуры. Вероятно дожди – вне этого – давали бы максимальные числа порядком ниже – 5 · 10⁻⁴%?

⁹ В виде иона SO₄²⁻ (до 8,8 · 10⁻³%), в органических веществах (*n* · 10⁻³%). В городских поселениях и фабричных местах до 3,8 · 10⁻² и больше.

¹⁰ В виде CO₂ до 5 · 10⁻⁴%, в органическом веществе (до 2,5 · 10⁻³%). Живые организмы не приняты во внимание. Обычно весовой процент CO₂ порядка 10⁻⁴%.

¹¹ В ионах NH₄¹⁺, в органических веществах.

¹² Очевидно, в соответственно меньших количествах должны находиться Xe, Ne, Kr.

¹³ Неорганический йод до 7,1 · 10⁻⁷, органический до 7,3 · 10⁻⁷%. Иногда последнего нет.

¹⁴ Нахождение Ra (требует проверки) вызывает неизбежность нахождения и других его производных. То же очевидно существует и для радона. Торон находится в воздухе – должен находиться в дожде. Важно выяснить, есть ли в дождевой воде радий без урана?

580. После падения на земную поверхность дождевой воды, ее состав, который – по методике взятия образцов – очень близок к составу тучевой воды, первое время довольно устойчив.

Заметно он начинает меняться только при развитии жизни.

Быстро меняется только режим газов, главным образом, углекислоты. Увеличение углекислоты по мере старения дождевой воды является по существу основным явлением в создании состава природных вод, не только в связи с непосредственным влиянием водной жизни, но и с тем, что, попадая на земную поверхность, на почву, дождевая вода обычно входит в газовую среду, очень богатую биогенной углекислотой.

Дождевая вода отличается малым количеством органических веществ, в ней растворенных. Они есть в ней (порядка 10^{-6} – 10^{-7} %) и содержат азот. Желательны анализы.

В некоторых случаях, ближе к океанам, где метеорные воды содержат много хлора, увеличивается содержание этого элемента. Обычно его немного.

Дождь содержит мельчайшую муть, взвешенные частицы, количество которых доходит до $2,5 \cdot 10^{-20}$ % по весу, может быть и больше. Обычные указания (немногочисленные) дают числа $7,1 \cdot 10^{-4}$ до $4,0 \cdot 10^{-3}$ %.

581. К метеорным водам относятся своеобразные пресные воды, не проходящие стадию туч и туманов – воды *росяные*.

Их можно рассматривать как проявление явления, аналогичного дождю, идущего как в самой близости к земной поверхности – на расстоянии немногих метров от твердых поверхностей, – так и в подземных частях тропосферы, близких к земной поверхности. Для почвенного воздуха это есть внутренний туман.

Отличие росяных вод связано как с подклассом (так как это, должно быть, воды, очень богатые углекислотой), так и с видом, так как эти воды должны быть богаты своеобразными (легко летучими) органическими веществами и такими кислотами, как серная или азотная (азотистая?), может быть, иногда в свободном состоянии. К сожалению, анализы, по-видимому, отсутствуют.

Росы, выделяющиеся в тундрах, степях, полях, лугах, лесах и т.п., осаждаются часто на растениях и тесно соприкасаются с водой, выделяемой этими организмами. Они могут в таком случае иметь некоторые свойства органо-генных вод.

Может быть эти воды меняются в своем составе в зависимости от того живого мира, на котором они осаждаются. Они должны быть относительно богаты радоном (и Tn?) и захватывают «запахи», т.е. летучие выделения организмов и органо-генных соединений биосферы. В приморских областях могут быть богаты хлором и йодом.

Количество углекислоты должно быть очень велико (переход к почвенным растворам).

Химически росяные воды, можно сказать, не изучены. Их изучение (даже в смысле элементарного состава) в разных широтах и в разных биоценозах, систематически поставленное, может дать важные данные.

Мне известны отдельные количественные пробы на немногие химические элементы. Таковы:

Cl	$8,0 \cdot 10^{-4}$ – $3,5 \cdot 10^{-4}$
NH ₃	$6.2 \cdot 10^{-4}$ – $1,0 \cdot 10^{-4}$

582. Есть еще одна форма метеорных осадков, которая должна быть выделена, но которая совершенно, сколько знаю, количественно не изучена.

Это – метеорные осадки, исключительно богатые углекислотой.

Таковы, во-первых, *углекислые туманы*.

Такие туманы распространены в городских поселениях; к ним принадлежат, например, знаменитые лондонские туманы, туманы фабричных районов. Количество углекислоты достигает в них до $4 \cdot 10^{-2}\%$, и даже отмечены случаи с $10^{-1}\%$ [$1,4 \cdot 10^{-1}$ по Ресселю (Russel)]. Эти числа требуют проверки.

Но такие *углекислые туманы* не только свойственны городам – они наблюдаются над богатыми растительностью лугами, прериями, лесными массивами.

А с другой стороны, они должны создаваться над сольфатарами и областями, богатыми углекислыми струями.

Туманы, по-видимому, очень концентрируют соединения азота (NH₃)¹.

Можно отметить следующие измерения:

NH ₃	$1,4 \cdot 10^{-2}$ – $1,3 \cdot 10^{-4}\%$
N ₂ O ₅	$1,0 \cdot 10^{-4}$ – $4,0 \cdot 10^{-5}$

583. Помимо туманов есть, по-видимому, и богатые углекислотой *дождевые воды*, происхождение которых неясно. Такие *углекислые дожди* описаны для Западной Сахары, где нормально они наблюдались для дождей, связанных с пустынными вихрями (coups de vent) или песочными ураганами, довольно обычными в этих местах. Капли такого дождя падают редко; они большие. Пробуя их раствором Ca(OH)₂, получаем сразу при падении пленки CaCO₃, которые не образуются от обычной дождевой воды при этих условиях (Amà, 1885).

Это все, что, кажется, известно об этих любопытных дождях. Амà подчеркивает их большую роль в денудации и изменении известковых почв и пород.

К этому же подклассу углекислых вод должны относиться, по крайней мере, некоторые виды *росяных вод* (§ 581).

584. Перейдем теперь к гораздо более мощному, основному, подцарству пресных вод суши – *подцарству наземных вод*.

Подобно водам метеорным, и эти воды неизменно существуют в течение геологического времени, с археозоя. Но в отличие от вод тропосферы, географически на поверхности суши древность отдельных водоемов различна.

Картина, которая нам теперь вырисовывается и охватывается в данный момент нашим научным мышлением, есть картина мозаичная. Разные части ее – разной древности и разной длительности. Только взятая в целом она остается миллиард–два миллиарда лет идентичной.

Географически взятые водоемы воды, т.е. химически определенные воды, в данном месте существуют ограниченное время.

¹ Концентрация NH₃ в туманах не только требует проверки, но даже еще и не исследована. Уже в 1860 г. Барраль указывал до $5 \cdot 10^{-3}$ NH₃. Леви в Монсури в Париже (1876) наблюдал максимум– $6,6 \cdot 10^{-3}\%$. Число, здесь данное, указано Кенигом (1893).

Это время с геологической точки зрения довольно длительное. Только для наземных вод, связанных с метеорными водами – луж – мы имеем быстро преходящие, недолго существующие воды, постоянно возобновляемые.

Все другие очень мало меняются в историческое время. Однако они все же меняются в течение тысячелетий, и картина наземных вод, ныне наблюдаемая, дает понятие – с небольшими поправками – о явлении, существующем в течение десятков тысяч лет, и с несколько меньшей точностью о том, что было сотни тысяч лет раньше.

Некоторые семейства наземных вод, например реки, находятся на тех же местах непрерывно в течение миллионов лет, несомненно для некоторых с плиоцена, а для других – с мезозойской эры (возможно есть и более древние).

585. Едва ли можно сомневаться, что здесь мы имеем дело не со случайным, а со строго закономерным явлением, которое мы только не можем охватить сейчас в полном масштабе.

Здесь вероятно проявляются черты определенной организованности земной коры, похожей на механизм. Так и та климатическая зональная смена на земной поверхности, которая правильно распределена по отношению к полюсам и отклонение которой от полюсов в течение всего *геологического* времени ограничено (§ 76 сл.), связана с *поясным распределением наземных вод и вод верхних покровов*, очень характерным для почвенных растворов, для озер, для болот, для большинства рек, кроме тех, которые прерывают зональность и проходят через ряд климатических поясов и т.п. Мы знаем, что географически – т.е. на том же месте – эти климатические пояса выдерживаются геологически длительно, и, например, области современных пустынь или тропических поясов в значительной части своих площадей заходят за ряд геологических периодов, с третичного времени, по крайней мере. Очевидно, в общих чертах в них сохранились и выдерживаются столь же длительно и многие конкретные случаи видов воды и общий характер этих видов.

Резкие изменения в историю наземных вод вносятся прежде всего ледниковыми периодами и в более медленном темпе – тектоническими перемещениями.

Как указано, мы живем сейчас в замирающем ледниковом периоде и на каждом шагу в истории воды сталкиваемся с испарением и с таянием существовавших в гораздо большем масштабе, чем ныне, материковых ледниковых покровов. Огромные области, занятые некогда этим ледниковым покровом – в Северной Америке, Европе, Сибири в первую очередь, – и прилегающая к ним огромная площадь, режим наземных вод которых они в свое время нарушили, вмещают наиболее молодых представителей наземных вод. Кое-где с их исчезанием – и со связанными с этим движениями суши – восстановились и старые пресные воды, вернее, они заняли прежние водовместилища, но в истории их вод был перерыв (например реки севера Европейской части СССР, по указанию Б.Л. Личкова).

Ледниковый покров отражался иначе, но глубоко за своими пределами. Так, например, в Африке и в подтропических областях он сказывался в изменении режима осадков (*дождевые периоды*) и в связи с этим – состава и характера воды озер и рек.

Наиболее древние примеры наземных вод мы должны искать в областях древних до-плейстоценовых оледенений вне влияния новых, третичных и более молодых, мощных дислокаций, например в Южной Америке и Южной Индии (ср. § 603).

Явления зональности, еще медленнее изменяющиеся в историческое время, представляют и высокие горы и низменности.

Для них химический состав наземных вод во многом резко различен в разных геохорах. Мы уже с этим встречались (§ 559). Реки и озера горных областей и низменностей имеют воду разного состава.

586. Среди наземных вод суши наблюдается гораздо большее разнообразие, чем в водах тропосферы.

Мы должны здесь резко различать *кислородный ряд наземных вод* – господствующие тела этого подцарства, затем ряд *бескислородный*. В подклассах кислородного ряда общего состава – $N_2-O_2-CO_2$ – удобно выделять *подряды* по CO_2 .

Для *кислородного ряда* можно отличить следующие семейства: 1) временные водоемы, лужи – продукты туч; 2) малоподвижные стоячие воды – продукты туч и верховодок; 3) текучие воды, связанные с тучами и верховодками; 4) стоячие воды, связанные в первую голову с рельефом; 5) реки; 6) озера; 7) вулканические и гейзерные воды; 8) болотные воды; 9) стоячие коллоидные воды; 10) рудничные воды; 11) биогенные воды.

Для *бескислородного ряда*: 12) придонные воды очень многих поверхностных вод, содержащих кислород.

587. *Временные поверхностные воды*, химически чрезвычайно мало изученные, образуют в своих представителях, связанных с метеорными осадками – дождями, отчасти снегом, одну из важнейших по весу форм воды в биосфере. Это всем известные *лужи*.

Падая на земную поверхность, дождевые воды в первое время мало подвергаются химическим изменениям и сохраняют – в течение дней, а может быть и недель – тот ионный состав, который дает анализ дождя. Но уже скоро начинается изменение этих вод, и, впитываясь в почвы уходя в глубь биосферы, они «разбавляют» все встречаемые воды, меняя не только их концентрацию (ее уменьшая), но и внося химические элементы, прошедшие через тропосферу.

Дождевые воды поверхности планеты – *лужи*, представляют количественно не менее грандиозное явление, чем то, какое имеют тучи. Я вернусь к его рассмотрению ниже, здесь же только отмечу, что по массе воды, им захваченной в каждое данное время, скажем – в течение года, мы имеем в лужах количества вещества по крайней мере того же порядка, как пресная вода рек или озер.

Таким образом лужи и тучи отвечают по составу, хотя и временно, одной и той же дождевой воде. Но различия морфологические так велики и ясны, что никто не усомнится в их принадлежности к разным видам минералов.

Главное изменение (кроме CO_2), химически не изученное, вносится жизнью, которая отсутствует в тучах и которая характерна и своеобразна в лужах. По мере того как лужи стареют, химическое изменение их вод увеличивается. Оно несомненно идет закономерно. Закономерность его ясна уже из

того, что морфологически фауна и флора луж чрезвычайно индивидуальны и своеобразны.

В то же самое время некоторые из луж, богатые гниющими органическими веществами, могут доводить количество жизни до максимальных пределов, нам известных. По исчислениям по методике, выработанной Н.Г. Холодным, количество неделимых бактерий в таких лужах может достигать до $5 \cdot 10^8$ в см^3 (Д. Радзимовский, 1930), т.е. они по весу могут составлять проценты воды¹.

К сожалению, химических анализов вод – превращения дождевой воды в лужевою воду – нет.

Впитываясь в землю, воды луж медленно и постоянно переходят в воды почв, подпочв и вод выветривания, компоненты которых при долгом стоянии луж в свою очередь в них проникают.

588. Разнообразие этих явлений очень велико. Я не имею возможности перечислить все случаи, хотя они и интересны и важны с точки зрения химии вод, так как приводят к разным минеральным видам или подвидам.

Переход от быстро исчезающих луж к постоянным вместилищам метеорной воды совершенно постепенный, и в общем для данной местности промежуточные стадии закономерны.

В дальнейшем изучении вод эта закономерность, конечно, выяснится, и стадии будут точно установлены. Пока же можно отметить некоторые:

1. Дождевые лужи в связи с рельефом и метеорологическими условиями местности могут держаться в некоторых местах неделями и годами. Такие постоянные лужи, очевидно, имеют другую воду, резко различную в разных климатических поясах и геохорах (например, в тундрах, полупустынях и т.д.).

2. Воды, которые образуются от таяния снегов. Частным, особым случаем являются воды, которые происходят от таяния длительных снежных и ледяных образований – ледников, ледяных гор и т.п.

3. Воды, которые образуются после разливов рек (реже озер) – закономерно в половодье.

4. Воды, которые связаны с выходом (в дождливое время) на поверхность подземных вод – верховодок. Очень часто это более длительные воды, переходящие в постоянные. Сюда относятся топи разного характера, часто высыхающие в жаркие и сухие месяцы и годы. Своеобразны также воды в лесах. Местами могут в виде топей выходить более глубокие пластовые воды.

5. Аналогичны своеобразные воды, которые образуются во впадинах и на стенах каменистых пород во влажных местах и странах в связи, главным образом, с метеорными водами. Растительность, особенно водоросли и мхи, захватывают эти воды, давая переходы в органогенные и почвенные воды. Часто они связаны с источниками. В сухие годы или сухие времена исчезают. В тропических и подтропических странах играют большую роль. Химически не изучены.

589. Для всех этих вод характерна особая по форме жизнь – особый характер связанных с ней биохимических процессов и особый газовый режим.

Этот газовый режим мало подвергался изучению, но ясно, что здесь могут быть воды подклассов $\text{N}_2\text{-O}_2\text{-CO}_2$, $\text{N}_2\text{-O}_2\text{-H}_2\text{S}$ (последний биохимический), $\text{N}_2\text{-O}_2\text{-NH}_4$ (в лесных лужах – биохимический) (Spandl, 1925).

¹ Принимая вес бактерии в 10^{-9} – 10^{-11} г.

В этом перечислении воды 3–5 по своему состоянию уже далеко ушли от чисто метеорной воды, но все же с ней неразрывно генетически связаны.

К тому же типу вод должны быть отнесены другие типы луж, на характере которых резко сказываются свойства того субстрата, который слагает лужи.

Таковы, например, лужи сухих областей, связанные с редко идущими ливнями, быстро выбрасывающими большие количества метеорной воды в областях пустынь и полупустынь.

Таковы, например, *силевые потоки* в пустынных и полупустынных областях, у нас в Туркестане или в Сахаре, когда после ливней (силей) образуются воды, временно заполняющие русла старых рек, почва которых богата солями (ср. § 660). В пресных разностях заключается $n \cdot 10^{-2} - n \cdot 10^{-3}\%$ NaCl. Они переходят в соленые *силевые* воды. Магний не определен. Вероятно, соленые разности преобладают.

Количество органического вещества колеблется. Обычно его немного.

Судя по своеобразию поверхностных вод этих мест, надо думать, что здесь образуются своеобразные, коллоидные воды, каковыми являются, вероятно и воды колодцев такыров.

Мы сталкиваемся здесь с малоохваченной научной мыслью областью явлений выветривания (§ 664), изучение которой только и поможет подойти к более глубокому пониманию пресных наземных вод, чем то, какое мы сейчас имеем.

Аналогичные силевым потокам, богатые взмученными частицами – а следовательно и химически различные – воды, часто соленые, но и пресные наблюдаются и в других случаях, например, воды грязевых горных потоков (Альпы). Химически они не изучены.

590. Совершенно особый вид луж представляют лужи, которые получают *на морях и океанах, соляных озерах* во время ливней и долгих дождей. Для ряда мест – например, в определенные дождевые периоды года в области муссонов и пассатов – опреснение водных поверхностей достигает очень больших размеров.

Эти временные явления, в конце концов лишь слабо действующие на всю массу воды морей или океанов, постоянно существуют или восстанавливаются в картине природы и не должны упускаться из виду.

Их пресные воды имеют свой особый химический характер.

От этих вод, связанных прямо или близко с метеорами, должны быть отличены пресные воды на поверхности морей и океанов, изливаемые многоводными реками, например, Амазонка в Атлантическом океане или в миниатюре Чорох в Черном море. В конце концов эти воды – непрерывно существующие – исчезают в морской воде. В мелких морях (как, например, Белое) в конце концов их постоянное нахождение влияет на всю морскую воду, ее опресняет, не только разбавляет. Ибо в результате меняется биохимический фактор – населяющая их жизнь. Так изменена и вода тех Североледовитых морей, которые омывают берега Северной Сибири, куда вносят пресную воду великие сибирские реки.

591. Другие виды пресных вод дают лужи, которые получают в ледниках и в фирновых полях и на них при их таянии. Как всюду в природе, мы имеем здесь многочисленные разнообразные явления и соответственно многочисленные разности *снежной* или *ледяной* воды, этим путем получаемой.

Здесь лужа образуется не непосредственно из метеорной воды – дождя, снега или росы, а из измененной путем перекристаллизации и давления снежной массы.

Особый интерес и большое значение в истории воды имеют лужи (и озера), образующиеся при таянии айсбергов, плавающих ледяных гор, закономерно, как увидим позже, вносящих в океаны огромные количества пресной воды.

Они образуются при таянии айсбергов, например, во время их движения к югу в Северном Атлантическом океане как на их поверхности, так и под ними и вокруг них в морской воде.

Состав этих вод, богатых кислородом, должен быть своеобразен ввиду, во-первых, богатства морского воздуха NaCl (и сульфатами), и, во-вторых, своеобразия флоры этих луж: в них преобладают диатомеи. Они должны быть богаты кремнием, может быть выделяемым благодаря биогенному разложению каолина мутей.

Кажется, анализов их нет. Мне известны только неполные пробы. Так, по определениям А. Чернышева (1901) мы имеем для пресных прудов на айсбергах:

<i>Плотный остаток</i> (при 130°)	$7,6 \cdot 10^{-2}$ – $1,8 \cdot 10^{-2}\%$
Cl (может быть и Br)	$1,9 \cdot 10^{-2}$ – $4,0 \cdot 10^{-3}$
SO ₄	$4,8 \cdot 10^{-3}$ – $6,1 \cdot 10^{-4}$

Эти пруды-лужи иногда содержат слабо соленую воду.

592. Помимо луж, к тому же типу, явно связанному с метеорными осадками, относится ряд разнообразных поверхностных вод – родников, ручьев, колодцев и т.п., частью временных, частью постоянных.

Они непосредственно переходят в колодезную питьевую воду – родниковую, пресных источников, верхних горизонтов пластовых вод – в верховодки.

Для этих переходных вод есть некоторые химические данные. Для них по сравнению с дождевыми водами увеличивается связанный азот, органический углерод, по-видимому, кремнезем, плотный остаток.

Отличие от дождевых вод видно в следующих числах:

<i>Плотный остаток</i>	$6,3 \cdot 10^{-2}$ – $1,5 \cdot 10^{-3}\%$
Cl	$8,2 \cdot 10^{-2}$ – $3,5 \cdot 10^{-4}$
N ¹	$2,6 \cdot 10^{-2}$ – $2,0 \cdot 10^{-6}$
C ²	$2,7 \cdot 10^{-3}$ – $3,5 \cdot 10^{-5}$

¹ Сюда входит органический азот (до $2,8 \cdot 10^{-3}$), азот аммиачный (до $5,6 \cdot 10^{-5}$), азот нитратов и нитритов (до $2,6 \cdot 10^{-3}\%$). Азот газообразный, растворенный не принят во внимание. Он увеличит все количество азота, максимум до $8,0 \cdot 10^{-3}\%$.

² Это углерод органических соединений. Не принят во внимание углерод CO₂ (растворенный и в ионах CO₃²⁻, может быть, HCO₃¹⁻).

Количество остатка увеличивается на земных поверхностях, богатых известью, среди известняков и доломитов, и для них остаток, богатый Ca и Mg, при выпаривании этой поверхностной воды легко достигает $1,1$ – $1,2 \cdot 10^{-1}\%$, т.е. получается солоноватая вода этой группы.

Воды, содержащие до $1 \cdot 10^{-4}\%$ органических веществ, считаются уже чистыми, от $1 \cdot 10^{-4}$ до $3 \cdot 10^{-4}\%$ – средними по качеству (Е. Торп).

593. Итак, дождевые воды быстро и глубоко меняются от пребывания на суше. Я уже указывал (§ 579), что они (лужи), благодаря поселяющейся в них жизни, быстро увеличивают количество CO_2 ; не менее быстро увеличивается в них количество *растворимого органического вещества*.

Падая на земную поверхность и на ней задерживаясь, дождевая вода входит в теснейший контакт с почвой, почвенными растворами; она проникает в почвы и смешивается с почвенными растворами.

Здесь начинается влияние того основного фактора, который определяет химический характер всех поверхностных вод биосферы – *почвенного водного раствора*. Пресные воды, особенно такие, относительно неглубокие, как воды рек, определяются в своей основной части характером почвенных процессов (§ 608), им же определяется состав верховодок; через реки почвенные растворы определяют в известной доле и состав солевого остатка океанических и морских вод.

Вода луж и временных скоплений дождевых и снеговых вод наименее изменена почвой; вода метеорная, которая проникла в почву и которая стекает дальше и глубже, через родники и верховодки в речные бассейны или в подземные пластовые воды, уже является резко измененной в своем составе по сравнению с метеорной и, должно быть, с лужной водой.

Частным случаем такого изменения является и то органическое вещество, которое в ней концентрируется и которое вырабатывается в почвенном растворе.

594. Основным элементом, главной составной частью массы поверхностных вод являются дождевые воды; это верно для более постоянных поверхностных вод, связанных с верховодками, выходящими этим путем на поверхность, и играющих огромную роль наряду с реками и озерами в явлениях живой природы.

Они выходят на поверхность биосферы обычно в виде небольших водоемов, естественных колодцев очень разнообразной формы, или в виде источников, нередко дающих в конце концов начало реке или озеру или образующих в месте выхода обычно небольшой водоем. Эти воды в главной своей части хотя и близки к земной поверхности, являются, однако, уже подземными, верховодками (§ 687), и их подземные части огромны по сравнению с их выходящей наружу наземной частью.

Человек в течение многих тысячелетий изменил и изменяет режим этих вод до чрезвычайности (колодцы), увеличивая выходы этих вод на земную поверхность (§ 129).

Выходя на земную поверхность, воды, профильтровавшиеся через почву и подпочву, через все трещины, которые образуются в биосфере, передвигающиеся вне соприкосновения с тропосферой, – эти воды резко меняют свой химический состав по сравнению с лужами. Они чрезвычайно тесно связаны в своем химическом составе как с климатическими зонами (Г. Высоцкий, 1900; К. Лисицын, 1920), так и с рельефом местности (Г. Высоцкий), с геохорами. Явления, связанные с разведением вмещающих их пород, сказываются чрезвычайно резко.

В странах сухих и жарких в породах, сильно разъедаемых или содержащих легкорастворимые части, они легко переходят в соленые воды.

Связь с рельефом вызывает мозаичность их химического состава, резкие изменения в концентрации их солевого состава в одной и той же местности, на недалеких расстояниях.

Эти свойства вод имеют место в тех местностях, в которых верховодки – верхние горизонты пластовых вод – подходят к земной поверхности и к подпочвенным водам. Это явление, широко распространенное, как увидим в дальнейшем в истории воды в биосфере, охватывает большие пространства. Оно вызывает топи (§ 588), и им же обусловлен колодезный режим культурного быта. Иногда при слабом проявлении поверхностных вод верховодка лежит близко к поверхности, как это имеет место, например, в Муганской степи; здесь она лежит на 2–3 метра от поверхности, реже спускается до 5 метров (Ф. Саваренский, 1925).

595. Понятие о валовом составе колодезных и родниковых вод дают следующие числа, указывающие пределы колебаний.

*Химический состав воды источников, родников, колодцев.
(верховодки), вес. %*

Колодезные (родниковые) воды O–Ca–Cl–S–C–(Na)

*Плотный остаток*¹ $1,0 \cdot 10^{-1} - 1,2 \cdot 10^{-3}$

Элементы (за исключением H₂O)

O ²	$9,4 \cdot 10^{-2} - 6,1 \cdot 10^{-4}$	Fe ⁹	$5,4 \cdot 10^{-4} - 7,0 \cdot 10^{-6}$ (сл.)
Ca ³	$5,9 \cdot 10^{-2} - 1,5 \cdot 10^{-5}$	Ar	$9,7 \cdot 10^{-5} - 5,5 \cdot 10^{-5}$
Cl	$3,9 \cdot 10^{-2} - 3,5 \cdot 10^{-5}$ (сл.)	Au	$4,6 \cdot 10^{-6} - ?$
S ⁴	$1,2 \cdot 10^{-2} - 3,3 \cdot 10^{-5}$ (сл., иногда нет)	He	$3,4 \cdot 10^{-6} - ?$
C ⁵	$1,8 \cdot 10^{-2} - 3,8 \cdot 10^{-4}$	J	$1,0 \cdot 10^{-6} - 2,1 \cdot 10^{-9}$
Na	$9,8 \cdot 10^{-3} - 1,0 \cdot 10^{-4}$	Mn	$1,5 \cdot 10^{-7} - 5,0 \cdot 10^{-8}$
N ⁶	$8,2 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3}$	Kr	$1,2 \cdot 10^{-9}$
Mg	$3,9 \cdot 10^{-3} - 5,0 \cdot 10^{-6}$	Xe	$2,0 \cdot 10^{-10}$
K	$3,9 \cdot 10^{-3} - 2,1 \cdot 10^{-5}$	Ra	$6,9 \cdot 10^{-14} - 0$
Si	$3,0 \cdot 10^{-3} - 3,1 \cdot 10^{-5}$	Rn	$3,8 \cdot 10^{-14} - 4,3 \cdot 10^{-18}$ (газ)
Al ⁷	$1,8 \cdot 10^{-3} - 1,3 \cdot 10^{-5}$ (сл.)	органические	$7,0 \cdot 10^{-2} - 2,0 \cdot 10^{-4}$
H ⁸	$9,4 \cdot 10^{-4} - 2,2 \cdot 10^{-7}$	вещества	

¹ Таким образом, мы имеем постепенный переход в соленые воды – во второй класс природных вод ($>1 \cdot 10^{-10}$ % остатка).

² Кислород, растворенный (мин. $1,0 \cdot 10^{-3}$ %), органических веществ (до $6,8 \cdot 10^{-3}$ %). CO₂ (до $7,7 \cdot 10^{-3}$ % и больше) и ионов HCO₃¹⁻, CO₃²⁻ (восго до $2,2 \cdot 10^{-2}$ %), ионов SO₄²⁻ (до $4,6 \cdot 10^{-2}$ %), NO₃¹⁻ (до $8,7 \cdot 10^{-3}$ %), мицелл Si₂O₅ и т.д.

³ Максимальная цифра отвечает водам в областях развития известняков и доломитов. Обычно кальция гораздо меньше (часто порядка 10^{-2} %).

⁴ Иногда следы (т.е. меньше $1 \cdot 10^{-6}$ %?). Не принято во внимание органическое вещество. Приняты во внимание ионы SO₄²⁻ и небольшие количества H₂S (иногда).

⁵ Не приняты во внимание организмы (бактерии), не имеющие однако пределов.. Обычны ионы HCO₃¹⁻, и CO₃²⁻, всегда растворенная CO₂ обычно не выходит за пределы декады 10^{-3} %, так как количество углерода в растворенной CO₂ не выходит за эти пределы. Вероятно не подымет декаду и углерод органического вещества. Прямые определения Пикока (1932 г.) для углерода органического вещества 4 источников Франции дают $2,3 \cdot 10^{-4}$ до $5,0 \cdot 10^{-6}$ %.

⁶ Количество азота не может понижаться ниже декады $10^{-3}\%$, так как едва ли количество растворенного азота спускается ниже $1,8 \cdot 10^{-3}\%$. Азот связанный едва ли спускается ниже (до $n \cdot 10^{-3}\%$) $1,0 \cdot 10^{-6}\%$. Для N аммиачного $n \cdot 10^{-5}\%$.

⁷ Минимальный предел 10^{-5} вероятно слишком высок.

⁸ В H_2S , в ионах MN_4^{1+} . Ионы H^{1+} и HO^{1-} не приняты во внимание.

⁹ Иногда указываются «следы». Меньше $10^{-6}\%$? Частью в виде мицелл в органических веществах или гидратах Fe_2O_3 .

Несомненно, эти числа дают очень неполное представление о составе этих вод. Очень многие элементы в них доказаны только качественно, а другие присутствующие оставлены без внимания. Качественно определены P, V, Br, Li, Ag, Ne, Kr, Xe.

Резкое преобладание Ca над Na связано, вероятно, с недостаточным числом анализов.

Вероятно, в разных «ландшафтных» поясах, в разных геохорах, наблюдаются в одних воды более богатые Na, в других – Ca.

Количество бактерий дает массы, отвечающие до 10^{-2} – $10^{-1}\%$ веса воды.

Есть, по-видимому, разные подклассы вод – переходы в кислородно-азотно-сероводородные, углекисло-азотно-кислородные и т.п.

596. Несомненно, приведенные здесь числа дают только очень общее понятие о составе родниковых вод. Эти воды очень сильно меняются в зависимости от петрографического состава пород, в которых они находятся.

Так, по Э. Рейхардту (1875), для горных ключей Германии состав меняется в зависимости от состава пород; получаются резко различные воды (вес.%):

Порода	Плотный остаток	Органическое вещество	N (связанный)	Cl	S	Ca	Mg
Гранит	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	0	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$6,9 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Пестрый песчаник	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$5,2 \cdot 10^{-2}$	$8,4 \cdot 10^{-3}$
Раковистый из вестняк	$3,3 \cdot 10^{-2}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$7,4 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$
Доломит	$4,2 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$	сл.	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-1}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$

Уже для вод, проходящих в гипсовых породах, мы имеем дело с *солеными* водами, так как средний плотный остаток равен $2,4 \cdot 10^{-1}\%$.

Характерно уменьшение солевого остатка в областях массивных пород. Это приводит, как мы видели (§ 562), к отдельным родникам *химически чистой воды*, вероятно, в связи с своеобразным проявлением частичных сил.

597. Широко распространенную группу поверхностных и верхнепластовых вод составляют воды, находящиеся в областях известковых и доломитовых пород, столь широко распространенных на земной поверхности. Эти карбонатные воды – Ca–C–O и O–C–Ca–Mg – переходят в конце концов по мере углубления в воды углекисло-кислородно-азотные. Плотный осадок $n \cdot 10^{-2}$ –

$n \cdot 10^{-3}\%$. К сожалению, нет полных анализов. Отношения Ca/Mg меняются. В чисто доломитовых областях это отношение равно 1,5, в сметанных доломитовых и известковых 2,4 [Клэн (Klähn, 1926)].

598. Огромное количество бедных углекислотой поверхностных вод наблюдается в условиях, в которых не может быстро развиваться в них органическая жизнь.

Таковы горные воды – озера, ручьи и т.п., связанные с таянием снегов и ледников. Некоторые – может быть небольшие – горные озера отличаются исключительной чистотой и главным образом бедностью углекислотой.

От горных ручьев есть все переходы к горным каскадам – водопадам. Эти воды иногда бывают пересыщены или по крайней мере насыщены кислородом, озонированы.

От них есть переходы в азотно-кислородно-углекислые воды.

599. Уже в областях, где развиты массивные породы, воды отличаются относительным богатством кремнием в форме ионов HSiO_3^{1-} , SiO_3^{2-} или золь SiO_2 . То же самое наблюдается в областях, происшедших от разрушения массивных пород или биогенных, богатых кремнием, пород биосферы и стратисферы.

Совершенно ясно, что преобладание кремнезема в земной коре должно отразиться на составе вод как подземных, так и наземных.

Оно всюду видно и в водах родниковых и в верховодках, но, к сожалению, чрезвычайно мало изучено и настоятельно требует систематического изучения. Виды таких вод различные. Их наблюдают, например, среди вод, связанных с разрушением колчеданов и относящихся к подклассу, характеризующему H_2S (§ 600), но есть родниковые воды иного типа. Так, например, около Спа, по Джонсу, существуют воды с сухим остатком $1 \cdot 10^{-3}\%$, половина которого состоит из SiO_2 . Эти кремневые воды переходят в верховодки, часто также богатые кремнием.

Часть кремния находится в них в коллоидном растворе, часть же в виде ионов SiO_3^{2-} , может быть HSiO_3^{1-} .

Я вернусь ниже к этому явлению при изучении подземных пресных вод.

В разнообразных случаях – частью в тесной связи с тем культурным изменением, которое производит на поверхности биосферы человек – подземные пресные воды, почвенные и верховодки дают разнообразнейшие мелкие водоемы – своего рода постоянные лужи, нас всюду окружающие, но лишь случайно подвергающиеся исследованию. Они смешаны с метеорными водами.

Примером таких водоемов в штольнях, богатых радием руд, могут служить водоемы около Яхимова (Ю. Стоклаза и Ленкава, 1932); это воды, в которых, кроме ионов SO_4 и SiO_3 , преобладают Ca или Na, т.е. воды O – Ca – S – Si или O – Na – Si – S – или их смесь.

600. В разнообразных поверхностных водах наблюдается *сероводород* разного происхождения, связанный обычно с биохимическими процессами. Он большей частью получается восстановлением бактериями сульфатов. Среди таких вод преобладают кальциевые воды.

Кальциевые – O – S – Ca – воды большей частью должны быть отнесены к классу соленых вод (остаток от выпаривания больше $1 \cdot 10^{-1}\%$).

Железистые воды образуются в очень многих местах в виде родников и ручьев, связанных с разрушением марказитов, – в Европейской части Союза, например, в областях юрских песчаников и глин. Иногда H_2S в них сходит на нет. Анализ источников в бассейне Вятки (урочище Сухой Бор) приводит Н. Кассиным (1928), вес. %:

Плотный остаток $6,6 \cdot 10^{-3}$

O	$2,4 \cdot 10^{-3}$	Mg	$1,6 \cdot 10^{-4}$	Al	$3,8 \cdot 10^{-5}$
Si	$7,5 \cdot 10^{-4}$	Na ¹⁻	$n \cdot 10^{-4}$	K	$n \cdot 10^{-5}$
Fe	$3,3 \cdot 10^{-4}$	S	$7,1 \cdot 10^{-5}$	H ₂ S	?
Ca	$2,0 \cdot 10^{-4}$	C	$4,1 \cdot 10^{-5}$	Органич. вещ.	$3,4 \cdot 10^{-3}$

¹ Есть общее число для $(Na + K)_2O \dots 2,0 \cdot 10^{-4}\%$.

Это воды O – Si – Fe – (S)? Очевидно, в этих водах сера постепенно уходит в воздух в виде H_2S . Их конечным продуктом, должно быть, явятся воды известково-карбонатные? Очень желательно ближе изучить эти воды.

601. Новые компоненты поверхностных вод – луж, родников, почвенных вод, рек, озер и т.п. – получаются разным путем: 1) путем *выщелачивания*, т.е. растворения легко растворимых тел, находящихся в окружающей воды нерастворимой твердой среде биосферы; 2) путем *выветривания*, т.е. химического, биологического и физического изменения пород и минералов твердых покровов планеты с созданием в них новых легко растворимых и распыляемых соединений, дающих начало компонентам поверхностных природных растворов – ионам, мицеллам, газам, мулям. Угольная кислота, вода (гидратация в частности – § 309 сл.), биохимические и биогеохимические процессы, метеорные осадки и ветер создают тела выветривания. Процессы выветривания идут в подземных водах, в почвенных, подпочвенных, иловых растворах – в верхних частях верховодок (§ 666) связаны с метеорными водами. Они создаются геохимической энергией жизни, лучистой энергией солнца (световой и темной), радиоактивной энергией, химическими и частичными силами, может быть – космическими излучениями и, наконец, 3) путем *разъедания*, т.е. перевода в раствор целиком тех или иных твердых тел биосферы, трудно растворимых или «нерастворимых» в чистой воде, но легко или заметно растворимых в природных растворах.

К этим трем основным процессам надо прибавить *биогенную миграцию химических элементов*, связанную как с жизнью, так и с ее продуктами.

602. В ходе этих процессов редко собираются в больших массах особые воды, где специально собираются компоненты, полученные только одним из этих путей. Обычно все эти процессы действуют в биосфере одновременно и дают общий эффект во всех близких к поверхности водах. Особые, свойственные каждому процессу воды все же должны встречаться чаще, чем нам это сейчас кажется.

Должны существовать воды, связанные с преобладанием каждого из указанных процессов нового создания компонентов. Таковы *воды, связанные с выщелачиванием*; мы их видим в соленых водах морских осадков, сделавшихся сушей, и в тех первичных пресных разностях, которые получают в них в начале процесса изменения, в лужах этих областей, например (ср. § 589) – силевые воды. Эти процессы выщелачивания на поверхности биосферы

должны иметь огромное значение в создании неисследованных пресных водосносных вод осадочных пород (§ 716).

В связи с процессами *разъедания* создаются воды поверхностные карстовых областей и отвечающие им воды подземных водоемов; известны пока пресные (§ 692).

В связи с процессами *выветривания*, связанными с образованием коллоидов и гидратов, образуются специальные воды, совершенно не изученные – *подпочвенные растворы* (§ 666). Они отличаются от *почвенных растворов* прежде всего меньшим и иным влиянием жизни. В истории коллоидальных вод мы уже сейчас можем отметить их проявление. Будущие работы выяснят этот процесс во всем его значении. Область подпочвенных вод должна являться главной областью выветривания и должна отражаться на водах почвенных, грунтовых и наземных.

Во всех ниже рассматриваемых водах мы имеем случаи закономерных смесей, где в конце концов могут быть для компонентов установлены определенные типы их образования.

603. *Пресная речная вода* занимает очень видное место в истории природных вод и по массе и по геохимическому эффекту. Она по массе преобладает по крайней мере втрое над массой озерной воды.

По Гальбфассу объем речной воды исчисляется в $1 \cdot 10^5$ кубических километров, образуя массу порядка 10^{14} тонн. Преобладают мелкие реки. Наибольшими реками по длине являются Миссисипи – Миссури, Амазонка, Нил, Янгтзе, Енисей (11 152–7 600 км); наибольшими по бассейну – Амазонка, Конго, Миссисипи – Миссури, Рио де Лаплата, Обь ($2,18 \cdot 10^7$ – $7,6 \cdot 10^6$ км²).

В общем всякая река представляет равновесие, чрезвычайно устойчивое, – состав которого меняется только в течение геологического времени.

Современные реки в большинстве случаев выходят за пределы плейстоцена в третичную систему, по крайней мере. Ирравади в Бурме непрерывно существует с начала третичного времени – несколько десятков миллионов лет тому назад. С конца третичного времени движутся воды Рейна, пережившего ледниковый период плейстоцена. Не менее древни реки Европейской части СССР. Еще более древни – с плиоцена – реки Колорадо, Юта, Аризоны, создавшие великие каньоны. Начало других рек, как, например, рек Южной Африки, должно уходить, судя по ее геологической истории, – глубже (§ 585). Возможно, что есть реки, существующие с мезозоя – сотни миллионов лет? Или даже древнее?

604. Газовая атмосфера пресных рек связана с резким преобладанием (по весу) CO_2 над N_2 и O_2 . Мы уже видели некоторые числа, сюда относящиеся (§§ 572–578). Колебания отвечают следующим вес. %:

CO_2	$7,8 \cdot 10^{-3}$ – $3,9 \cdot 10^{-3}$
N_2	$2,7 \cdot 10^{-3}$ – $1,6 \cdot 10^{-3}$
O_2	$1,4 \cdot 10^{-3}$ – $8,4 \cdot 10^{-4}$

По объему это будет, например, для Сены (Е. Пелиго, 1857):

CO_2	41,8%
N_2	39,5
O_2	18,7
	<hr/>
	100,0

Состав (солевой) относительно хорошо изучен. Числа колебаний устанавливаются тысячами анализов (§ 432 ел.).

605. Для пресной воды рек мы имеем следующие предельные числа, выражающие *состав остатка, отличающего воду пресных рек от химически чистой воды*¹:

Речные воды, вес %
 Плотный остаток $1,0 \cdot 10^{-1}$ – $6,2 \cdot 10^{-4}$ ¹
 По удельной электропроводности: K_{18} $5,02 \cdot 10^{-4}$ – $1,7 \cdot 10^{-5}$

Элементы:

O ²	$7,3 \cdot 10^{-2}$ – $3,8 \cdot 10^{-3}$	H ¹²	$9,8 \cdot 10^{-4}$ – $1,0 \cdot 10^{-7}$
Cl	$5,0 \cdot 10^{-2}$ – $1,2 \cdot 10^{-6}$ (ср. $6,0 \cdot 10^{-4}$ M) ³	Mn ¹³	$7,7 \cdot 10^{-4}$ – $2,8 \cdot 10^{-6}$ (0)
Na	$2,3 \cdot 10^{-2}$ – $7,0 \cdot 10^{-5}$	Ar	$9,6 \cdot 10^{-5}$ – $5,6 \cdot 10^{-5}$
S ⁴	$1,7 \cdot 10^{-2}$ – $3,7 \cdot 10^{-6}$ (ср. $7,5 \cdot 10^{-4}$ M)	As	$9,3 \cdot 10^{-5}$ – $2,0 \cdot 10^{-7}$
Ca	$1,7 \cdot 10^{-2}$ – $2,2 \cdot 10^{-5}$	P ¹⁴	$6,5 \cdot 10^{-5}$ – $8,8 \cdot 10^{-70\%}$ ³ (0)
Si ⁵	$1,2 \cdot 10^{-2}$ – $4,8 \cdot 10^{-6}$	F	$6,0 \cdot 10^{-5}$ – $2,0 \cdot 10^{-6}$
C ⁶	$1,0 \cdot 10^{-2}$ – $1,2 \cdot 10^{-3}$	Cd	$5,4 \cdot 10^{-5}$ –0
Mg	$6,6 \cdot 10^{-3}$ – $6,0 \cdot 10^{-6}$	Sr	$2,3 \cdot 10^{-5}$ –?
Fe ⁷	$4,6 \cdot 10^{-3}$ – $1,0 \cdot 10^{-3}$ (ср. $1,8 \cdot 10^{-3}$ M)	Li	$1,0 \cdot 10^{-5}$ – $3,2 \cdot 10^{-6\%}$ (ср. $8,9 \cdot 10^{-5}$ M)
K ⁸	$3,4 \cdot 10^{-3}$ – $3,8 \cdot 10^{-6}$	Cu	$2,1 \cdot 10^{-6}$ –?
N ⁹	$2,5 \cdot 10^{-3}$ – $1,8 \cdot 10^{-3}$	J ¹⁵	$1,3 \cdot 10^{-7}$ – $3,8 \cdot 10^{-8}$ (ср. $7,0 \cdot 10^{-8}$ Ф)
Al ¹⁰	$1,7 \cdot 10^{-3}$ – $4,2 \cdot 10^{-6}$ (ср. $1,7 \cdot 10^{-3}$ M)	Ag	$6,5 \cdot 10^{-9}$ – $6,0 \cdot 10^{-12}$
Zn ¹¹	$1,2 \cdot 10^{-3}$ –0?	Au	$1,0 \cdot 10^{-9}$ – $3,0 \cdot 10^{-13}$

¹ Т.е. есть непрерывный переход пресных рек в соленые.

² В эти предельные числа вошли как растворенные газы, так и твердые компоненты. Газы определяют минимальный предел. Свободный кислород ($1,4 \cdot 10^{-3}$ до $4,6 \cdot 10^{-4\%}$ и меньше, но не ниже $10^{-4\%}$); свободная углекислота (до $7,8 \cdot 10^{-2}$; спускается много ниже $1 \cdot 10^{-4\%}$). Много кислорода в органических веществах (до $2,4 \cdot 10^{-2\%}$?); в реках, загрязненных человеком, их много, но для всей речной воды это влияние еще не может быть учтено. Кислород еще в ионах: SO_4^{2-} (примерно до $3,7 \cdot 10^{-2\%}$), SO_3^{2-} и HCO_3^{1-} (примерно до $3,0 \cdot 10^{-2\%}$), NO_3^{1-} (до $3,0 \cdot 10^{-3\%}$), PO_4^{3-} (до $2,0 \cdot 10^{-4\%}$), NO_2^{1-} (до $5,4 \cdot 10^{-5\%}$), в мицеллах SiO_2 (до $2,6 \cdot 10^{-2\%}$), может быть, в гидратах окисей алюминия и железа. Органические вещества не приняты во внимание. Их количество может быть больше указанных пределов для рек, загрязненных человеком.

³ М – среднее число Меррея.

⁴ Сера содержится главным образом в виде иона SO_4^{2-} , реже и в исключительных случаях в виде растворенного H_2S – быстро исчезающего. Это наблюдается в так называемых «молочных реках»; в них наблюдается и растворенная и взмученная коллоидная сера – см. § 652.

⁵ В виде мицелл SiO_2 и ионов SiO_3 . В органическом веществе.

⁶ Нижний предел устанавливается растворенной, всегда присутствующей в речной воде углекислотой. Находится углерод, кроме того, в органических веществах, в ионах CO_3^{2-} и HCO_3^{1-} . Живое вещество всегда присутствует; пределов содержания углерода оно не меняет (для бактерий 10^{-5} – $10^{-3\%}$ по весу); может быть, не изменит их и все органическое вещество. По более точным определениям Пикопы (1932) для Сены и Шера, углерод органического вещества колеблется в пределе $2,3 \cdot 10^{-4}$ – $4,6 \cdot 10^{-5\%}$ по весу.

⁷ В виде ионов Fe^{2+} , может быть иногда Fe^{3+} (?). В мицеллах в форме органических комплексов и гидратов $Fe_2O_3 \cdot n H_2O$. В организмах. Иногда не открывается, т.е. меньше $n \cdot 10^{-7\%}$?

⁸ Реки, содержащие $10^{-3\%}$ К должны считаться богатыми калием, т.е. плодородными.

¹ Значительная часть минимальных и максимальных величин как здесь, так и для озерной воды (§ 634), является средними аналитическими данными из нескольких анализов. Ср. о характере речных анализов § 612.

⁹ Нижний или верхний пределы определяются растворенным газообразным свободным азотом. Находится еще азот растворенного органического вещества (может быть золь), азот в ионах NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , белковый азот (частью в органическом веществе, частью в микроскопической жизни). Ионы NH_4^+ может быть до $n \cdot 10^{-3}\%$. Есть указания большие. Азота в верхней Волге и ее притоках по С. Озерову (1927):

Нитратного	$0-6,5 \cdot 10^{-4}$
Нитритного	$0-4,4 \cdot 10^{-6}$
Аммонийного	$0-4,9 \cdot 10^{-5}$
Белкового	$7,0 \cdot 10^{-7}-4,4 \cdot 10^{-5}$
<i>Всего</i>	$2,1 \cdot 10^{-6}-7,1 \cdot 10^{-4}$

¹⁰ В виде ионов Al или мицелл $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$; в органическом веществе. Иногда не обнаруживается, т.е. меньше $10^{-7}\%$?

¹¹ Наблюдается лишь для рек, протекающих в областях метасоматических цинковых руд.

¹² В виде H_2S , ионов NO_3^- , H^+ , $\text{pH} = 7-7,2$

¹³ Нижний предел, может быть, слишком высок.

¹⁴ Ионы PO_4^{3-} . Органическое вещество. Иногда не обнаруживается, т.е. меньше $10^{-7}\%$.

¹⁵ Органический йод. $1,5 \cdot 10$ до $4,7 \cdot 10^{-8}\%$, неорганический йод $2,3 \cdot 10^{-8}$ до $8,5 \cdot 10^{-8}$ (Феллсберг и др.). Возможны числа порядка $10^{-5}\%$. Среднее по Феллсбергу. (Недостаточность содержания пода вызывает развитие зоба).

Несомненно, это далеко не полный список. Всегда есть еще Ra, Ne, K, Ne, X.

$$\text{Rn } 3,3 \cdot 10^{-16}-4,3 \cdot 10^{-18} \text{ (газ)}$$

606. Чрезвычайно характерно для рек нахождение органических веществ в растворе и в золях, а также в микроскопической жизни меньше 10^{-4} см размерами, главным образом бактерий. Но и более крупная жизнь составляет по весу – и по биохимическому эффекту – заметную и важную составную часть речной воды. Реки содержат значительную часть органического вещества в виде мутей, причем мутность вод тесно связана с явлениями жизни.

Количество жизни в реке и в ее продуктах (CO_2 , мутях и т.п.) подвержено периодическим колебаниям – как все ее явления. Для наших рек, например для Волги, резкое изменение – увеличение – дают весенние паводки (интересны наблюдения В.П. Радищева, 1926).

Наблюдения позволяют дать следующие предельные числа:

Бактерии ¹	$7,1 \cdot 10^{-3}-1,0 \cdot 10^{-7}\%$
Органические вещества	$7,7 \cdot 10^{-3}-1,7 \cdot 10^{-4}$
	(Средн. $1,7 \cdot 10^{-2}\text{M}$)

¹ Я принял во внимание наблюдения Н.Г. Холодного (1928) для Днепра, перечисляя их на вес бактерий $10^{-9}-10^{-11}$ г.

Для жизни более крупной, чем бактерии, получатся числа, едва ли меньшие, чем для бактерий. Речной планктон менее многочислен, чем в озерах, наннопланктон должен составлять значительную его часть. Микроскопические, более крупные, водоросли и животные по весу, вероятно, отходят на второй план. Для Волги, например по А. Бенингу (1929), в литре содержится их более 10^6 неделимых. Я вернусь к значению этих явлений ниже.

Число для органического вещества требует более точного определения. Кларк (1920) считает, что приблизительно в среднем 10% по весу сухого остатка речной воды отвечает ее органическому веществу. В твердый остаток

это вещество им не включено. Органические вещества будут в таком случае составлять: $1 \cdot 10^{-2}$ – $6,2 \cdot 10^{-5}$ % воды.

Приполярные и притропические реки, в которых количество органического вещества доходит почти до 70% всего твердого осадка до 69,9% (Уругвай) и в которых это вещество имеет совершенно определенный твердый состав, должны быть выделены в *особые виды*.

607. Органическое вещество встречается в реках еще в составе мути, играющей огромную роль в истории реки.

Муть рек теснейшим образом связана с живым веществом, с геохимической энергией жизни.

Она сносится в реки в виде тончайшей пыли ветрами и метеорными водами. Ее количество теснейшим образом связано с разрыхляющей работой в почве, которую производят прежде всего животные и больше всего человек. Растительность закрепляет и закрывает почву, уменьшает принос мути.

Человек своей земледельческой культурой, коренным образом изменив известный порядок, нарушил установившееся в плейстоценовое время равновесие.

Области, бедные земледельческой культурой, богатые водой с неисчезающей растительностью, например болотистые, обладают реками, бедными мутью, например, Васьюганы (М. Барышников, 1929).

От мути имеются все переходы в коллоидные системы; она входит в химические взаимодействия, меняет режим газов, ярко, иногда решающе, отражается на биохимических процессах.

Ее количество закономерно меняется. Во время паводков оно сильно увеличивается, т.е. меняется в связи с солнечным циклом биосферы. Для каждой реки это закономерный годовой или многолетний цикл.

Количество мути (по весу) аналогично другим компонентам природной воды.

Оно колеблется в пределах:

$9,7 \cdot 10^{-1}$ % (Миссисипи) – $5,0 \cdot 10^{-5}$ (притоки Волги).

Для верхней Волги и ее притоков (б. Московская губ.), по С. Озерову (1927), сухая (при 110° высушенная) муть колебалась (1913–1916) в пределах:

$2,1 \cdot 10^{-2}$ – $5,0 \cdot 10^{-5}$ %

Для Саратова наибольшее число $3,9 \cdot 10^{-2}$ %, наименьшее – весной во время паводка – $6,2 \cdot 10^{-5}$ % (А. Бенинг, 1929).

Это данные, отнесенные к высушенной мути, т.е. не отвечают ее реальному состоянию в реке. Процессы гидратации (§ 309 сл.), окисления, бактериальные концентрируются в мути. Главная масса органического вещества реки здесь сосредоточена. Во всех этих явлениях объем мути играет большую роль. Он много больше ее веса.

Для трех Туркестанских рек – для Аму-Дарьи, Сыр-Дарьи, Чу – средняя мутность воды по объему равна:

$1,26 \cdot 10^{-1}$ – $1,91 \cdot 10^{-1}$ % (В.Г. Глушков, 1911).

В отдельных случаях количество мути достигает огромных количеств, например, для Колорадо и Рио Гранде Эль Пас максимальные числа достигают 1,4–1,7%.

Очевидно из этих данных, какую огромную работу производит вода рек, смывая в конце концов континенты и перенося в море огромные количества вещества¹, и как велика здесь роль жизни. Именно в виде мути, а не в виде растворенных солей наиболее резко проявляется нивелирующая роль рек. Она определяет вещевой обмен: суша \rightleftharpoons океан. Муть и более крупные ее части приводят к образованию в конце концов горных пород.

Отмечу один факт. Амазонка в год переносит таким путем в океан $6,2 \cdot 10^{15}$ г вещества суши (Ф. Катцер). Амазонка еще мало охвачена земледельческой культурой.

608. Уже указанные предельные числа показывают чрезвычайную изменчивость химического состава растворенного и микродисперсного вещества, которое несут (§ 605) реки.

Это колебание резко выражено для всякой отдельной реки. Река является чрезвычайно чувствительной, равновесной системой, находящейся в непрерывном изменении.

Она вечно меняется, и это изменение различно в каждом месте ее течения, меняется днем и ночью, по временам года, в многолетние периоды.

Все наши представления о составе речной воды являются сложными, и какие-нибудь средние числа могут дать понятие только о каком-то несуществующем теле, около которого меняется природный объект.

Изменение касается всех элементов речной воды: жизни, газов, концентрации раствора, отдельных элементов.

Река в основной массе своей воды является функцией метеорной воды; основа ее состава, вечно меняющаяся, есть *дождевая вода*. Но затем она питается измененной *родниковой водой* (верховодкой) и той чрезвычайно важной водой, которая вносится в нее метеорной водой, падающей на сушу, выщелачивающей земную поверхность — *почвенным раствором*.

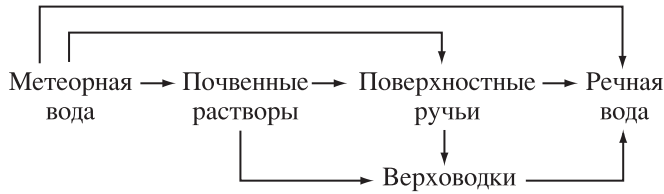
Почвенные растворы (§ 663) бассейна реки определяют основную составную часть солевого состава речной воды.

Связь речной воды с почвенным раствором сложная; она мало выяснена. Влияние почвенного раствора двоякое: 1) он влияет на химическое изменение дождевой воды, через него проходящей и собирающейся в форме ручьев, разных форм стока, дренажа земной поверхности, и 2) он влияет на химический состав верховодки, в непосредственной связи с которой находится речная вода (§ 673).

Влияние состава верховодки на состав речной воды точно так же мало научно точно выяснено, как и влияние воды почвенной. По-видимому, оно более сильно сказывается в отдельных случаях для некоторых рек. Вода верховодки находится в теснейшей связи с водой метеорной и почвенной.

¹ Количество мути превышает в среднем в несколько раз (2–3) количество речного солевого остатка.

609. Общее равновесие может быть выражено следующей схемой:



Главным механизмом, создающим *солевой состав* рек, как видно из этой схемы, являются почвенные растворы, главным агентом в создании которых является жизнь.

Очевидно разный характер почвенных растворов должен отражаться на составе речной воды.

Каждый приток воды имеет свой состав.

Несомненно, и река и притоки ее всегда разъедают и растворяют свое ложе, но, по-видимому, это непосредственное выщелачивание реки имеет менее значения, чем вынос в реку прямо или через ручейки и родники метеорной воды, связанной с водой почвенной.

610. От изменения темпа всех этих процессов – от годового их хода и физико-географического изменения в разных участках речного бассейна, соответственно, временно меняется состав речной воды.

Можно отметить несколько явлений из бесчисленного их разнообразия. В наших широтах меняется концентрация речных вод, сверху замерзающих, так как зимой они лишены значительной части или вполне их метеорного пополнения (Ю. Рот, 1879) и в то же время, благодаря изменению характера жизни, меняются биохимические условия бытия рек. Меняются и концентрация, и газовый режим, и состав солевого остатка. Это – процесс, периодически повторяющийся.

Изменения идут быстро. Так, по А. Альмену (1863), концентрация р. Fyris в Швеции:

21 марта 1867	$2,0 \cdot 10^{-2}\%$
23 апреля 1867	$1,0 \cdot 10^{-2}$
27 июля 1867	$1,6 \cdot 10^{-2}$
12 декабря 1867	$1,8 \cdot 10^{-2}$

Очень резко колебания для органических веществ, накапливающихся зимой.

Сильно меняется состав рек, протекающих через озера.

Та же самая река во время паводка и в обычное время имеет часто совершенно другой состав, не говоря уже об изменении при этом концентрации.

Эти изменения идут с большой правильностью, в определенные периоды: так, например, в Сыр-Дарье для хлора: в июне – августе его количество равно $1,4 \cdot 10^{-3}$; (плотный остаток в июле $2,2 \cdot 10^{-2}$); в сентябре $4,9 \cdot 10^{-3}$; в октябре $1,4 \cdot 10^{-3}$; в ноябре-декабре $4,1 \cdot 10^{-3}$; (плотный остаток в декабре $4,9 \cdot 10^{-2}\%$) (Киселев, 1910).

Меняется при этом не только концентрация, но и газовый состав, например, в половодье Волги увеличивается количество CO_2 в воде в связи с усиленным окислением органического вещества (В. Радищев, 1926).

Как пример таких сезонных изменений можно привести анализы воды (под руководством Киселева, 1913) для Сыр-Дарьи (ст. Запорожская) лета-зимы 1912–1913 г.:

р. Сыр-Дарья
Плотный остаток¹, вес. %

Лето	Зима
$1,7 \cdot 10^{-2}$	$4,2 \cdot 10^{-2}$

Элементы

O ²	$1,3 \cdot 10^{-2}$	O ³	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Ca	$3,6 \cdot 10^{-3}$	Ca	$9,4 \cdot 10^{-3}$
C	$2,3 \cdot 10^{-3}$	S	$6,1 \cdot 10^{-3}$
S	$1,9 \cdot 10^{-3}$	C	$4,6 \cdot 10^{-3}$
Na	$1,5 \cdot 10^{-3}$	Mg	$3,7 \cdot 10^{-3}$
Mg	$1,4 \cdot 10^{-3}$	Na	$3,7 \cdot 10^{-3}$
K	$1,1 \cdot 10^{-3}$	K	$1,1 \cdot 10^{-3}$
Si	$3,7 \cdot 10^{-4}$	Si	$8,4 \cdot 10^{-4}$
H	$2,2 \cdot 10^{-4}$	H	$3,7 \cdot 10^{-5}$

¹ Плотный осадок колеблется в течение года. Для Сыр-Дарьи он увеличивается с октября по май; потом уменьшается.

² Свободный O₂, CO₂, органические вещества не учтены; SO₄²⁻ до $5,8 \cdot 10^{-3}$, HCO₃¹⁻ до $1,1 \cdot 10^{-2}$ %.

³ Свободный O₂, CO₂, органические вещества не учтены; SO₄²⁻ до $1,8 \cdot 10^{-2}$, HCO₃¹⁻ до $2,3 \cdot 10^{-2}$ %.

Для сезонных изменений Волги, по данным Радищева, (1926) выявляются следующие колебания (1924–1925), вес. %:

	Max:Min
Ca ²⁺	$7,1 \cdot 10^{-3}$ – $2,4 \cdot 10^{-3}$ 2,96
HCO ₃ ¹⁻	$2,1 \cdot 10^{-2}$ – $7,3 \cdot 10^{-3}$ 2,94
SO ₄ ²⁻	$9,1 \cdot 10^{-3}$ – $1,7 \cdot 10^{-3}$ 5,35
Cl ¹⁻	$1,7 \cdot 10^{-3}$ – $2,4 \cdot 10^{-4}$ 6,96
Mg ²⁺	$1,5 \cdot 10^{-3}$ – $4,8 \cdot 10^{-4}$ 3,19

Изучение сезонных изменений показывает, что происходит изменение порядка ионов (напр, для SO₄²⁻ – HCO₃¹⁻); если даже оно связано с разбавлением реки метеорной и другой водой, то это тоже указывает, что приходящие воды другого состава.

Но помимо приноса разных вод идет поглощение составных частей, ионов, в растворе в илу дна или в мути реки. Геохимически роль этой «сорбции», как ее начинают называть, очень велика.

Каждая река имеет свою химическую индивидуальность, точно отражающую сложные химические равновесия ее водного бассейна: его почвенные растворы, его грунтовые воды, его метеорные воды, его поверхностные воды, его живое вещество и их изменения в связи с климатическими колебаниями, а в большие периоды времени – с геологическими изменениями.

Так, Аму-Дарья, по данным Киселева, имела среднюю концентрацию в 1912 г. – $4,3 \cdot 10^{-2}$ %, в 1913 г. $4,7 \cdot 10^{-2}$ % (причем maximum наблюдается в марте – $6,2 \cdot 10^{-2}$ %, minimum в июле – $2,6 \cdot 10^{-2}$ %).

Изменение отдельных компонентов в разные года шло различно – так, для Аму-Дарьи наблюдались следующие числа *средних* годовых: величин, вес. %:

	Cl	Ca	S
1911–1912	$8,3 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$
1912–1913	$9,0 \cdot 10^{-3}$	$9,1 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$

Для Чарджоу сезонные числа 1912–1913:

<i>Плотный остаток:</i>	$2,6 \cdot 10^{-2}$ – $6,2 \cdot 10^{-2}$
Na	$2,3 \cdot 10^{-3}$ – $8,9 \cdot 10^{-3}$
K	$2,0 \cdot 10^{-3}$ – $6,2 \cdot 10^{-4}$
Ca	$5,1 \cdot 10^{-3}$ – $8,9 \cdot 10^{-3}$
S	$4,4 \cdot 10^{-3}$ – $4,4 \cdot 10^{-4}$

По данным Киселева же (1912), отдельные туркестанские реки разномнят свой состав зимой и летом. Вода реки Чу остается почти неизменной в количественном соотношении компонентов, Сыр-Дарья меняет его сильно. Из элементов наименее меняется калий.

Очень резко колебания проявляются в пустынных и в жарких местностях, где пресные реки могут превращаться в реки рассольные.

Резко меняется режим газов в связи с замерзанием и с изменением температуры. При своем течении река может переходить в области иной химической устойчивости и не сразу к ним приравливается.

Наконец, сейчас могучим фактором является культурная деятельность человека. Река, правда, выравнивает это изменение, но в общем ее состав меняется человеком, и в среднем меняются все составные части. Так, Темза до Лондона содержит $7,4 \text{ см}^3$ кислорода в литре, после Лондона переходит в подкласс N – CO₂, содержа всего $0,25 \text{ см}^3$, т.е. вместо $1,1 \cdot 10^{-3}\%$ всего $3,6 \cdot 10^{-5}\%$.

611. Все же возможны представления о среднем составе речной воды биосферы.

Первая несовершенная попытка была сделана Д. Мёрреем (1877), улучшена Ф. Кларком (1908–1924).

И числа Мёррея и числа Кларка дают только солевой состав, не принимая во внимание растворенные газы. Кларк не принимает во внимание и растворенные органические вещества.

Кларк считал (1924), что эти числа отвечают довольно хорошо в процентах солевого остатка водам самых больших рек – Амазонки, Миссисипи и Нила. Он думал, что число для SiO₂ может быть слишком велико и что изучение состава вод больших рек Африки и Азии может изменить величины некоторых коэффициентов, но не изменит их порядка.

Есть некоторая аналогия между этим выражением среднего состава речной воды и средней морской воды, но аналогия не очень полная. Для средней морской воды мы действительно наблюдаем ее повсеместное проявление в окружающей природе; около коэффициентов среднего состава колеблется в очень узких пределах реальный состав морской воды, где бы мы его ни изучали. Это выражение реального равновесия в природе. Не то для средних чисел речной воды Мёррея–Кларка. К ним приближаются правильно взятые (§ 434) средние числа немногих больших рек. Обычно речная вода – иногда резко и различно в разных случаях – от них отличается.

Таблица Ф. Кларка (% плотного остатка);

	Для рек Северной Америки	Для всей суши
CO ₃	33,40	35,15
Ca	19,36	20,39
SO ₄	15,31	12,41
SiO ₂	8,60	11,67
Na	7,46	5,79
Cl	7,44	5,68
Mg	4,87	3,41
K	1,77	2,12
NO ₃	1,15	0,90
(Fe,Al) ₂ O ₃	0,64	0,50
	100,00	100,00

612. Эту таблицу можно, отнеся к максимальному и минимальному твердому остатку речных вод (§ 595), выразить иначе, – в коэффициентах, сравнимых с принятым мною элементарным составом пресных вод.

В таком случае мы имеем (maxima – minima, %):

Реки Северной Америки		Реки суши	
O	$4,3 \cdot 10^{-2} - 5,6 \cdot 10^{-4}$	O	$4,5 \cdot 10^{-2} - 5,9 \cdot 10^{-4}$
Ca	$1,9 \cdot 10^{-2} - 2,5 \cdot 10^{-4}$	Ca	$2,0 \cdot 10^{-2} - 2,7 \cdot 10^{-4}$
Na	$7,5 \cdot 10^{-3} - 9,7 \cdot 10^{-5}$	Na	$5,8 \cdot 10^{-3} - 7,5 \cdot 10^{-5}$
Cl	$7,4 \cdot 10^{-3} - 9,7 \cdot 10^{-5}$	Cl	$5,7 \cdot 10^{-3} - 7,4 \cdot 10^{-5}$
C	$6,7 \cdot 10^{-3} - 8,7 \cdot 10^{-5}$	C	$7,0 \cdot 10^{-3} - 9,1 \cdot 10^{-5}$
S	$5,1 \cdot 10^{-3} - 6,6 \cdot 10^{-5}$	S	$4,1 \cdot 10^{-3} - 5,3 \cdot 10^{-5}$
Mg	$4,9 \cdot 10^{-3} - 6,3 \cdot 10^{-5}$	Mg	$3,4 \cdot 10^{-3} - 4,4 \cdot 10^{-5}$
Si	$4,0 \cdot 10^{-3} - 5,2 \cdot 10^{-5}$	Si	$3,5 \cdot 10^{-3} - 7,2 \cdot 10^{-5}$
K	$1,8 \cdot 10^{-3} - 2,3 \cdot 10^{-5}$	K	$2,1 \cdot 10^{-3} - 2,8 \cdot 10^{-5}$
N	$2,6 \cdot 10^{-5} - 3,4 \cdot 10^{-8}$	N	$2,0 \cdot 10^{-5} - 2,6 \cdot 10^{-8}$
Al ¹	$2,3 \cdot 10^{-5} - 3,4 \cdot 10^{-8}$	Al	$9,7 \cdot 10^{-5} - 2,6 \cdot 10^{-8}$
Fe ¹	$1,5 \cdot 10^{-5} - 2,0 \cdot 10^{-8}$	Fe	$6,4 \cdot 10^{-5} - 8,3 \cdot 10^{-8}$

¹ На основании пределов колебаний (§ 605) отношение для Al : Fe в таблице Ф. Кларка принято 3 : 1.

В этой таблице не приняты во внимание растворенные газы, т.е. O₃, N₂ и CO₂ (в среднем всегда $n \cdot 10^{-30}$ %), органические вещества (в среднем 10% твердого остатка – § 605, т.е. $1 \cdot 10^{-2} - 1,3 \cdot 10^{-40}$ %) и принят во внимание только связанный азот. Органические вещества увеличивают проценты O, C, H, P, Si, Fe, S.

Приняв их во внимание, мы видим, что коэффициенты для O, C, N не могут спуститься ниже 10^{-3} % в минимуме, и они увеличатся (для minimum'a и maximum'a) еще для H, P, Si, Fe.

В таком случае мы получим приблизительно следующий ряд элементов в убывающем порядке для minimum'a:

O, C, N, Ca, Cl, S, Na, Si, Mg, K, H, Fe, Al.

Ярко выступают органогенные элементы O, C, N, Ca.

613. Еще несколько замечаний об этих исчислениях Кларка.

Числа для Северной Америки опираются на огромный материал, и, как заметил Кларк, они довольно близки к среднему составу Миссисипи (с ее притоками), что отвечает и реально значению бассейна этой реки в общей массе речной воды этого континента.

В этих числах мы имеем дело не с единичными отклонениями отдельных анализов, а с числами массовыми, когда вода одной и той же реки исследуется в разное время, в разных местах, в разных ее притоках. Р. Доль (см. § 434) пытался достигнуть для каждой главной реки Северной Америки познания среднего состава ее в течение года.

В тех крайних числах, которые приведены в § 605, мы имеем смешение и единичных анализов и средних анализов.

В общем различия между ними не очень резки, но несомненно одни средние анализы разных рек дали бы нам более узкие интервалы колебаний для средних проб, чем для состава единичных проб.

614. Мы сейчас это не можем сделать с достаточной точностью ни для одной реки (ни для одного речного бассейна). Но некоторые американские реки¹ приближаются к желаемым результатам и могут дать более точное впечатление о колебаниях средних величин их состава. Для самой Миссисипи (без притоков) мы имеем 207 сложных анализов: каждый анализ из этих 207 относится к воде, взятой в 1905–1908 гг. и составленной из проб, правильным образом собранных в разные месяцы в течение 10 или 7 дней подряд. Эти 7- или 10-дневные пробы смешивались и давали один анализ. Вода взята была в 6 пунктах. Работа исполнена в Американском геологическом комитете под руководством Ф. Кларка (1843–1931).

Мы имеем (вес. %):

р. Миссисипи

Плотный остаток $2,7 \cdot 10^{-3} - 1,6 \cdot 10^{-2}$

O ¹	$1,3 \cdot 10^{-2} - 7,4 \cdot 10^{-3}$	ср. $9,7 \cdot 10^{-3}$	Mg	$1,7 \cdot 10^{-3} - 9,2 \cdot 10^{-4}$	ср. $1,4 \cdot 10^{-3}$
Ca	$5,2 \cdot 10^{-3} - 3,4 \cdot 10^{-3}$	» $3,9 \cdot 10^{-3}$	Cl	$1,1 \cdot 10^{-3} - 1,6 \cdot 10^{-4}$	» $6,5 \cdot 10^{-4}$
Na ²	$2,2 \cdot 10^{-3} - 1,0 \cdot 10^{-3}$	» $1,4 \cdot 10^{-3}$	Si ⁵	$1,1 \cdot 10^{-3} - 5,6 \cdot 10^{-4}$	» $8,2 \cdot 10^{-4}$
S ³	$2,0 \cdot 10^{-3} - 6,3 \cdot 10^{-4}$	» $1,1 \cdot 10^{-3}$	N ⁶	$6,9 \cdot 10^{-5} - 3,0 \cdot 10^{-5}$	» $4,4 \cdot 10^{-5}$
C ⁴	$1,9 \cdot 10^{-3} - 1,2 \cdot 10^{-3}$	» $1,5 \cdot 10^{-3}$	Fe ⁷	$6,0 \cdot 10^{-5} - 7,0 \cdot 10^{-6}$	» $3,4 \cdot 10^{-5}$

¹ Только кислород ионов.

² Для одного пункта 35 компл. анализов $K 1,5 \cdot 10^{-3}\%$.

³ Только ионы SO_4^{2-} .

⁴ Только ионы CO_3^{2-} .

⁵ Только мицеллы SiO_2 .

⁶ Только ионы NO_3^- .

⁷ Только ионы Fe или мицеллы $Fe_2O_3 \cdot n H_2O$.
Для одного пункта из 52 сложных анализов $4,1 \cdot 10^{-5}\%$ Al.

¹ Аму-Дарья, Сыр-Дарья и некоторые другие реки Туркестана могут точно так же дать эти данные благодаря прекрасной организации работы, поставленной В.Г. Глушковым и исполненной Киселевым, о чем я уже упоминал (§ 432). Ее предположенное сейчас, по инициативе В.Г. Глушкова, восстановление представляет большой научный интерес. Необходимо привести в исполнение этот проект столь же научно точно, как это было в 1910–1913 гг., используя накопившийся после того научный опыт. Необходимо поэтому прежде всего определять средний элементарный газовый состав и состав (полный анализ) элементарный органического вещества. Но важно установить и химическую природу растворенных органических веществ. Необходимо количественно уточнить характер связи соединений азота и валентность атомов железа (должно быть, есть Fe^{2+} и Fe^{3+}).

615. Можно заметить среди речных вод два резко различных их вида, значение которых было подчеркнуто Ф. Кларком. С одной стороны – воды рек, протекающих в областях влажных, богатых растительностью, плодородных; и с другой – в местностях более сухих и менее плодородных.

В первых из металлов резко преобладает кальций и ион CO_3^{2-} – кальциево-карбонатные воды, а во вторых – CO_3^{2-} отходит на второй план, кальций не всегда преобладает, выступает ясно натрий.

В Северной Америке – это выражено довольно резко: на восток от р. Миссури господствуют CaCO_3 -воды, на запад от р. Миссури, в новой Мексике и Аризоне в речной воде ионы SO_4^{2-} преобладают над CO_3^{2-} , и наряду с Ca выдвигается, иногда преобладает натрий. Первые воды, связанные с совершенно особыми почвенными растворами, с особой почвенной микрофлорой и микрофауной, с богатой наземной растительностью, должны быть более богаты углекислотой, хотя это не может считаться вполне несомненным, ибо и вторые, богатые сульфатными ионами и в то же время ионами кальция и натрия, должны уже химически (может быть, биохимически) поглощать углекислоту. Это должно здесь проявляться особенно резко, так как при малых метеорных осадках и высокой температуре воздуха концентрация воды этих рек увеличивается, и они переходят в малоизученные реки с соленой (§ 767) водой.

Эти два типа речных вод могут быть прослежены на всех континентах. В приполярных и в тропических областях, где жизнь наземная (или жизнь почвы) получает резко особый оттенок по сравнению с промежуточными зонами, образуются новые виды речных вод, к которым, по-видимому, обобщение Кларка без поправок применено быть не может. Понимание этих явлений будет достигнуто, когда будут исследованы почвенные растворы зональных почв (§ 663).

Одна и та же река может переходить из одной стадии воды в другую.

616. Огромное большинство рек дают смеси – в разных пропорциях – этих двух видов речных вод. Эти смеси существуют всегда в природе как таковые, следовательно представляют естественно-историческое явление и поэтому должны быть отличаемы как особая форма – особый вид пресных вод, подобно тому как мы отличаем как особые минеральные виды разные изоморфные смеси, например группа энстатита для метакремневых солей.

Для обычных пресных речных вод необходимо поэтому отличать по крайней мере три разных вида – Ca – CO_3 , Ca – Na – SO_4 и их смеси.

В пределах этих рек наблюдаются многочисленные разности, имеющие местный характер в зависимости от геологического и главным образом геохимического характера местности, в которой лежит данный речной бассейн. С этой точки зрения явление мало изучено, но, очевидно, только идя этим путем, изучая отклонения от среднего, проявление химической индивидуальности реки, можно достигнуть в этой области точного знания крупных успехов.

До сих пор попытки были мало удачны. Ф. Кларк указывает, например, на относительное богатство магнием рек около озера Мичиган в области серпентиновых пород. Они содержат, однако, всего $8,3 \cdot 10^{-4}\%$ Mg – значительно меньше максимальных пределов.

617. Уже сейчас можно выделить как отдельные виды пресных речных вод, резко связанных с определенными климатическими зонами, два вида этих вод (оба крайне недостаточно изученные).

Это, во-первых, – *приполярные реки* с светлобурой водой, вполне аналогичные приполярным озерам, и во-вторых – *черные реки* тропических и подтропических областей.

Для приполярных стран, связанных с тундровыми областями, воды рек отвечают водам озер. Для рек полные анализы с учетом органических веществ очень редки.

Характерной их составной частью являются органические вещества, в них растворенные. Они составляют значительную часть их твердого остатка. В среднем для главнейших рек Финляндии они составляют 44,44% (по О. Аскану, 1908). Вынос в океан органического растворенного материала с континентов, различного в определенных климатических поясах состава, представляет важную, по-видимому, черту механизма биосферы. Мы имеем пояс приполярных рек и пояс подтропических рек, богатых растворенным органическим веществом, уносимым непрерывно с континентов. Для южного приполярного пояса это явление не выражено, так как Антарктика оледенена, а Южная Америка и прилегающие острова теряются в общей массе океана. Выражено это резко для северного, где ярко развиты относительно мелководные моря. Мы опять видим здесь проявление диссимметрии (§ 74 сл.), так как наше северное полушарие в приполярной своей части отвечает континентальному диссимметрическому полушарию: в водное южное полушарие вливаются реки иного состава.

Состав органического вещества бурых приполярных и подтропических рек отличен, и, по-видимому, резко. Он сложен в приполярных реках. Характерно для них преобладание кислых гуминовых (по О. Аскану) соединений, содержащих серу и фосфор. Следующие цифры дают понятие о колебаниях их состава для Финляндских вод, выраженные в процентах на *безводное* тело. В действительности это, конечно, водные коллоиды. Колебания следующие:

C	50,0–54,1	O	38,8–47,9
H	3,9–5,0	P	0,065–0,179
N	1,5–2,9		

Необходимо изучение органического вещества приполярных рек вне Финляндии и дальнейшее уточнение работы, начатой Асканом.

618. Притропические черные реки мощно развиты в Южной Америке и в Африке и вливают наибольшее количество богатой органическими веществами воды, главным образом, в океан, в южное полушарие – опять-таки в схеме диссимметрии – в континентальной его части (см. рис. 5).

Эти бурые и черные реки несут другое органическое вещество, чем реки севера. Его состав неизвестен с точностью, но оно, по-видимому, богато кремнием и железом. Оно несет в океан и азот, может быть фосфор.

Есть случаи своеобразных рек, дающих особые воды в тех случаях, когда они образуются от смешения поверхностных вод с мощным выходом акротерм и особенно – горячих минеральных источников.

Среди них возможно сейчас отметить *реки, содержащие бор*. Такова, например, река Firehole в Калифорнии, тесно связанная с оригинальными бор содержащими минеральными источниками и бор содержащими вулканическими парами.

619. Есть группа *культурных вод*, которая должна быть сюда отнесена и которая связана со столь резким и длительным изменением биосферы, что едва ли правильно было бы оставить ее без рассмотрения. Надо помнить, что реки были, по-видимому, как раз теми местами, где начались большие цивилизации и где впервые и в большом масштабе начало проявляться геохимическое воздействие человека на природу.

Это *ирригационные воды*, которые резко меняют природу страны, и в странах древних культур несомненно существуют более 5000 лет, может быть больше 8000 лет.

Эти воды отличаются от обычных речных вод по своему химическому составу, так как в них увеличиваются органические вещества и соединения аммония. Характер органического вещества своеобразный; биохимические явления, в этих водах идущие, – тоже.

К сожалению, анализы не дают нам достаточно ясного понятия о составе этих вод, так как ни органическое вещество, ни газовый режим этих вод не изучены.

Воды эти – особенно в условиях сухих жарких местностей, где они развита – временами или надолго переходят в *соленые воды*. Как пример можно привести анализы А. Шмидта вод арыков Ферганы (вес %):

Плотный остаток $3,1-3,3 \cdot 10^{-2}$

Элементы:

O ¹	$1,7 \cdot 10^{-2}$	Na	$1,7 \cdot 10^{-3}-1,0 \cdot 10^{-3}$
Ca	$6,2 \cdot 10^{-3}-1,7 \cdot 10^{-3}$	Cl	$1,2 \cdot 10^{-3}-6,4 \cdot 10^{-4}$
C ²	$4,3 \cdot 10^{-3}-2,6 \cdot 10^{-3}$	K	$8,7 \cdot 10^{-4}-5,4 \cdot 10^{-4}$
Si ³	$3,3 \cdot 10^{-3}$	N ⁵	$2,4 \cdot 10^{-4}$
Mg	$2,0 \cdot 10^{-3}-1,2 \cdot 10^{-3}$	H ⁶	$4,1 \cdot 10^{-6}$
S ⁴	$1,8 \cdot 10^{-3}-8,4 \cdot 10^{-4}$		

[Сюда же может быть отнесен своеобразный тип водоемов – рисовые поля].

¹ Не приняты во внимание растворенный кислород, органическое вещество, растворенная CO₂.

² Не приняты во внимание органическое вещество и растворенная CO₂.

³ Из SO₂. Не приняты во внимание органическое вещество.

⁴ Из SO₄. Не приняты во внимание органическое вещество и часть H₂S.

⁵ Из аммиачных соединений. Ни растворенный азот, ни органические вещества не приняты во внимание.

⁶ Из H₂S. Органические вещества и вероятно HCO₃¹⁻ не приняты во внимание.

620. Гораздо более разнообразны по составу и относительно недурно изучены воды замкнутых бассейнов – *озерные воды*.

Пресные озерные воды составляют для них меньшую часть по массе воды, чем пресные воды для рек.

Все озера составляют около 1,8% суши, т.е. $26,82 \cdot 10^6 \text{ км}^2$ ее площади. Значительная часть их соленая; самое большое озеро – Каспийское ($4,36 \cdot 10^5 \text{ км}^2$) – солевое; наибольшее пресное озеро – озеро Верхнее в Северной Америке имеет площадь всего $8,29 \cdot 10^4 \text{ км}^2$ – а все пять великих пресных озер бассейна р. св. Лаврентия, куда оно входит, не составляют и половины Каспия – $2,45 \cdot 10^5 \text{ км}^2$.

Пресные озера местами скопляются в огромных количествах, занимая значительную часть земной поверхности. Таковы области, геологически недавно покрытые ледниками, – Скандинавия, Финляндия, Карелия, Северная Европейская часть Союза, Западная Сибирь в северной части и т.п. Явления эти связаны с замиранием ледникового периода и меняются с ходом времени (озерный период П. Кропоткин, § 494). В Норвегии на $3,29 \cdot 10^5 \text{ км}^2$ известно $2,0 \cdot 10^5$ озер (К. Стром, 1931).

Пресные озера в огромном большинстве случаев имеют сток.

Это сближает их с реками в том смысле, что вода в них не вполне задерживается. В реке в каждой точке вода непрерывно течет и материально в каждый момент иная. В проточном озере смена происходит медленно, и, например, для Женевского озера для этого потребно 11,2 лет (Форель).

Как только сток сильно задерживается – создаются условия для превращения пресного озера в соленое или в болото (§ 291).

Вода пресных озер очень близка к воде речной.

Это, очевидно, связано с тем, что одни и те же воды метеорные и почвенные слагают главным образом и воду речную, и воду озерную.

621. Химический состав озер должен очень сильно отражать их физико-географические условия. Значительное количество озер бессточны и их удобно было бы отличать от озер, имеющих сток. Все естественные *пруды* бессточны.

Это первое – и основное – явление, которое должно быть принято во внимание.

Второе – глубина. Огромное большинство озер мелкие; пруды все мелкие, и может быть было бы удобно называть естественными прудами небольшие мелкие озера.

Озера глубокие и большие правильно называть *пресными морями*. Огромные мелкие озера являются *гигантскими постоянными лужами*. Они насквозь прогреваются и освещаются, и все биогенные миграции химических элементов идут в них иначе, чем в пресных морях или в более глубоких озерах. Для них почвенные и метеорные воды приобретают особое значение. В сухих и бессточных областях они неустойчивы: переходят в соленые, рассольные воды, наконец в твердые солончаки.

Огромное изменение вносится человеческой культурой: создаются десятки, сотни тысяч «прудов» – искусственных озер; уничтожается, может быть, не меньшее число естественных озер.

Химический анализ вод искусственных прудов, по возможности, не принят во внимание в данных ниже таблицах.

622. Подобно тому, что наблюдается для родниковых и грунтовых вод и для *озерной воды*, первоисточником является *вода метеоров*, прямо или косвенно через речную, ручьевую и родниковую, почвенную и верховодку. Уже

из этого видно, что озерная вода дальше от своего первоисточника, дождевой воды, чем до сих пор рассмотренные пресные наземные воды.

Уже сильно химически измененная в верховодках и в поверхностных водах дождевая вода, входя в замкнутые бассейны, подвергается дальнейшим изменениям, причем первостепенное значение имеют в этом изменении живые существа.

От таких обычных озер, вода которых имеет сложное происхождение (из грунтовой – поверхностной – почвенной – метеорной), надо отличать озера, получающие значительную часть воды из более глубоких частей земной коры – из сопок, гейзеров, вулканических извержений. Но и эти озера всегда получают в свой состав метеорные и поверхностные воды, а иногда и верховодки, и эти воды часто играют в конце концов господствующую роль.

623. В озерах обычного типа неизбежно с ходом времени происходят изменения под влиянием взаимоотношений между количеством и составом разных видов вод, в их состав входящих, их испарения и влияния жизни. Эти изменения проявляются резко только в случаях, когда воды озера не имеют стока, т.е. когда вода озера постоянно не возобновляется. Такие области составляют по Де Маргонну и Отреру больше 30% суши.

В связи с явлениями климатическими и тесно с ними связанными явлениями жизни процесс изменения озерных вод идет в двух направлениях.

В областях, богатых влагою, в озерах развивается могучая зеленая растительная жизнь, которая непрерывно захватывает озеро и в конце концов превращает его в *болото* и в торфяник. Неизбежное при этом увеличение солевых частей, приносимых в озеро метеорными и поверхностными водами, перерабатывается в биогенные минералы и в живые вещества.

Явления сорбции меняют состав воды.

Другой процесс идет в сухих и жарких, обычно бедных влагою, местностях. Здесь с ходом времени концентрация воды озера увеличивается, и озерная вода из пресной становится *соленой*. Жизнь озера меняется, и живое вещество вырабатывает другие соединения. Чрезвычайно характерно, что на суше (и в ее водоемах) существует очень большая амплитуда солености внутренних жидкостей сухопутных растений – от пресных до рассольных включительно (§ 140). Этого нет в морских организмах.

В конце концов озеро становится рассолом, становится самосадочным, выделяет соль. Характер населяющего его живого вещества еще более меняется и в последних стадиях количественно уменьшается. В конце концов значительная часть воды химически связывается, и озеро превращается в твердое соленое сульфатное или хлористое минеральное отложение.

В первом случае вода переходит в другое *семейство* того же класса – во втором она переходит в другие *класс* и группу. Этот переход нередко растягивается надолго, идет в течение геологического времени.

Процесс идет наиболее быстро и полно в озерах, не имеющих впадающих в них и выходящих из них рек.

624. Неизбежное исчезание, геологически временное существование озер, лишенных резко выраженного стока, – делает из них характерные геологически краткотечные виды воды в биосфере.

На эту особенность озерных вод обратил внимание в середине XIX в. глубокий и оригинальный натуралист Т. Бельт на основании изучения озерной фауны. Он обратил внимание на чрезвычайное сходство фауны пресных озер на всей биосфере и объяснил это явление неустойчивостью озер во времени и в пространстве. Организмы – хотя и уединенные – не успевают (в отличие от островов) выработать новые устойчивые формы. Новые формы организмов появляются для болот и соленых озер.

Помимо указанных в предыдущем параграфе причин, действует еще одна, которая касается и озер проточных: озера постоянно мелеют, засыпаются приносимыми впадающими в них реками, ручьями и метеорными водными твердыми телами. Для Боденского озера этим путем закончится процесс через 12 500 лет; для Женевского через 45 000 лет. Наши географические карты для всех стран света – за немногие сотни лет – указали огромное число таких случаев для всей суши (в целом не сведенных). В Тироле, например, за 100 лет исчезло или превратилось в болота 118 озер.

Новейшие тектонические движения действуют в ту же сторону – кладут конец существованию пресных озер.

Едва ли есть пресные озера древнее середины постплиоцена, т.е. их существование не превышает немногих десятков, сотен тысяч лет.

625. Неподвижный в общем характер воды вызывает и другое явление – своеобразное *расслоение* озерной воды в вертикальном разрезе на химически различные части. На разных глубинах эти воды получают разный химический характер, который заставляет относить их к разным подклассам, семействам, классам, подцарствам.

Здесь надо различать два разных явления. Одно присуще всем водным бассейнам: морям и океанам, рекам, озерам. Это разделение вод на воды основные для данного семейства, донные и иловые. Иловые воды относятся к другому подцарству (подземных вод), донные обычно относятся к другому подклассу (бескислородному). Лишь в мелких реках и озерах это деление не может быть ясно проведено.

Основная вода бассейна обычно остается в реках и морях одинаковой: в реках – благодаря непрерывному движению воды, причем донная вода выражена слабо; в морях и в океанах различия более резки, но и здесь огромный размах движений не дает обычно такого химического различия в отдельных слоях основной воды, какое наблюдается наиболее резко и нередко в малоподвижных слоях многих озерных бассейнов. Однако чем глубже начинают изучать моря и океаны, тем различия слоев основной воды становятся более ясными¹.

626. В озерах *бессточных* или таких, в которых приток и уход воды не играют большой роли, явления *расслоения* воды приобретают особое значение.

Здесь мы имеем явления разного типа. Во-первых, мы имеем здесь одновременное существование и удерживание в виде динамических равновесий вод разных *классов*, т.е. вод разной концентрации – например, вод пресных наверху и соленых внизу.

¹ В реках явление не изучено. В придонной воде должно сказываться явление сорбции, например, йод увеличивается. Может быть, здесь, однако, процесс биохимический?

Это явление не очень редко, особенно в пределах класса, так, например, часто наблюдаются воды разной послойной солености. Как пример двух вод – пресной и соленой – можно привести анализы Ф. Буркара вод озера Ритам в кантоне Тичино в Альпах. Здесь мы имеем (вес. %):

оз. *Ритам*

Поверхностная пресная вода		Донная соленая вода на 13 метрах глубины	
Остаток	$1,2 \cdot 10^{-2}$	Остаток	$2,4 \cdot 10^{-1}$
О	$5,7 \cdot 10^{-3}$	О	$1,2 \cdot 10^{-1}$
Ca	$2,7 \cdot 10^{-3}$	Ca	$5,3 \cdot 10^{-2}$
S	$1,9 \cdot 10^{-3}$	S	$5,6 \cdot 10^{-2}$
Mg	$6,6 \cdot 10^{-4}$	Mg	$1,2 \cdot 10^{-2}$
C	$4,8 \cdot 10^{-4}$	C	$1,1 \cdot 10^{-3}$
K	$2,0 \cdot 10^{-4}$	K	$3,6 \cdot 10^{-4}$
Na	$1,4 \cdot 10^{-4}$	Na	$2,2 \cdot 10^{-4}$
Si	$1,3 \cdot 10^{-4}$	Si	$4,8 \cdot 10^{-5}$

Разнообразные явления этого рода мы будем встречать и позже – например, Могильное озеро (§ 780) и т.п.

Еще обычнее разная концентрация *газов*, т.е. переход вод из одного *под-класса* в другой.

627. Очень часто не отличают озерную пресную воду от пресной речной воды. И действительно, как легко видеть, сравнивая их элементарный состав, средний валовой (§ 605, 628), они почти идентичны.

Но этот валовой элементарный состав далеко не дает полного точного понятия о динамической химической системе, какую представляет природная вода. Это уже видно из указаний в предыдущих параграфах.

Необходимо поэтому отделять речную воду от воды озерной, но нельзя упускать из виду многочисленных проявлений сходства между ними и даже генетических взаимоотношений.

Сходство проявляется довольно глубоко; так, наблюдается параллелизм в химических разностях вод.

Мы увидим этот параллелизм в том, что существуют озерные и речные разности тех же вод – серых, черных, бурых и т.д.

Генетическая связь выражается в ряде геологических процессов.

Между речной и озерной водой есть совершенно закономерные переходы, имеющие место в связи с большими геологическими процессами, связанными с историей поверхностных вод. Еще геологически недавно, в связи с ходом явлений, сопровождавших замирание ледниковых покровов, существовали своеобразные образования мелких подводных широких речных бассейнов, имевших многие характерные черты озер (очень яркое и широкое значение этих вод подчеркнуто недавно Б.Л. Личковым; идея, кажется, впервые высказана П.Н. Кропоткиным). Эти воды сейчас замирают. Химически они не изучены, но очевидно своеобразны.

Но помимо этого есть более общие явления, меняющие режим рек и связывающие его с озерами. Таковы тектонические, закономерно связанные с общей эволюцией планеты, движения речных бассейнов.

Это, например, такие поднятия площадей речных бассейнов, которые делают их бессточными, прекращают их связь с той земной впадиной, с которой они были связаны. Изменяется уровень эрозии. Осолоняясь, реки в этом случае в конце концов переходят в систему озер, и их вода получает характер озерной воды.

Дело будущего связать эти геологические изменения с изменениями геохимическими и с закономерным превращением одного вида природных вод в другой.

628. Наши сведения о химическом составе пресных озерных вод могут быть выражены следующими числами (вес. %):

<i>Пресная озерная вода</i>			
<i>Остаток от выпаривания: $1,0 \cdot 10^{-1}$—до $6,0 \cdot 10^{-5}$ ¹</i>			
<i>Электропроводность $2 \cdot 10^{-6}$—$6 \cdot 10^{-6}$ (Норвегия. По Строму, 1931).</i>			
<i>Элементы³</i>			
O^4	$6,3 \cdot 10^{-2}$ — $1,0 \cdot 10^{-3}$	P^{12}	$9,9 \cdot 10^{-5}$ — $1,8 \cdot 10^{-7}$ (сл.)
Na	$3,5 \cdot 10^{-2}$ — $5,2 \cdot 10^{-5}$	Mn	$1,0 \cdot 10^{-5}$ — $4,1 \cdot 10^{-6}$ (0)
Cl	$3,0 \cdot 10^{-2}$ — $1,1 \cdot 10^{-6}$	Ti^{13}	$6,3 \cdot 10^{-6}$ —сл.?
C^5	$1,1 \cdot 10^{-2}$ — $4,8 \cdot 10^{-4}$	Rb	$5,4 \cdot 10^{-6}$ —сл.?
Ca^6	$9,7 \cdot 10^{-3}$ — $5,5 \cdot 10^{-6}$	Li	$4,6 \cdot 10^{-6}$ —?
Mg^7	$6,6 \cdot 10^{-3}$ — $1,9 \cdot 10^{-4}$	J	$4,0 \cdot 10^{-7\%}$ — $1,0 \cdot 10^{-7}$ (и меньше)
S^8	$6,4 \cdot 10^{-3}$ — $3,3 \cdot 10^{-7}$	Есть B, Ra, Rn, Tn .	
K	$6,1 \cdot 10^{-3}$ — $3,8 \cdot 10^{-7}$	Органические вещества ¹⁴ $2,2 \cdot 10^{-2}$ — $5,7 \cdot 10^{-3}$	
Si	$5,2 \cdot 10^{-3}$ — $3,6 \cdot 10^{-6}$	Планктон ¹⁵ до $5,3 \cdot 10^{-4}$	
Fe^9	$4,9 \cdot 10^{-3}$ — $4,0 \cdot 10^{-7}$	Органическая муть ¹⁶ $2,5 \cdot 10^{-3}$ — $4,8 \cdot 10^{-4}$	
N^{10}	$3,2 \cdot 10^{-3}$ — $1,8 \cdot 10^{-3}$	Неорганическая муть ¹⁶ $1,4 \cdot 10^{-3}$ — $2,4 \cdot 10^{-4}$	
H^{11}	$2,5 \cdot 10^{-4}$ — $9,0 \cdot 10^{-6}$	pH 6,0—8,5 соответствующие H^{1+} $1,10^{-6}$ — $5 \cdot 10^{-8}$	
Al	$2,3 \cdot 10^{-4}$ — $2,7 \cdot 10^{-6}$		

¹ Бросается в глаза исключительная чистота некоторых озерных вод (ср. например дождевую воду). Ясен переход в соответственные соленые воды ($> 1,10 \cdot 10^{-1}\%$).

² Обычно 20 — $40 \cdot 10^{-6}$. Электропроводность $1 \cdot 10^{-6}$ равна содержанию в литре $6 \cdot 10^{-1}$ мг, т.е. $6 \cdot 10^{-5}\%$ остатка.

³ Включены и некоторые «пруды», которые едва ли заметно отразятся на этих числах.

⁴ В этих числах не принято во внимание количество кислорода в органическом веществе и в углекислоте, что не изменит порядка кислорода. В ионах SO_4^{2-} (до $1,9 \cdot 10^{-2}\%$), CO_3^{2-} (до $5,3 \cdot 10^{-2}\%$), в более малом количестве в ионах NO_3^- , в мицеллах SiO_2 (до $1,1 \cdot 10^{-2}\%$) и, может быть, в окисях Fe и Al . Растворенный кислород в мелких озерах и особенно в прудах, богатых зеленой жизнью, дает в солнечные дни пересыщенные растворы, давая до $3,6 \cdot 10^{-3}\%$ (вместо $1,1 \cdot 10^{-3}\%$ по Метрингу, 1907). Падает до $3,2 \cdot 10^{-5}\%$.

⁵ Главную массу углерода составляет CO_2 , количество которой всегда порядка $10^{-3}\%$; количество углерода в органических соединениях и в ионах CO_3^{2-} обычно гораздо меньше; не считая растворенной CO_2 , минимум углерода может доходить до $10^{-7}\%$ ($5,6 \cdot 10^{-7}\%$). Нельзя, однако, не отметить, что этот минимум возбуждает сомнения, ибо органические вещества в озерных водах очень часто пропускаются в анализах. Живое вещество не принято во внимание. В обычных озерах учет растворенного органического вещества не изменит пределов порядка. По определению Пикопа (1932), естественный пруд в лесу Рамбулье дает углерода $3,9 \cdot 10^{-4}$ — $8,3 \cdot 10^{-4}\%$; многие озера еще более богаты таким углеродом.

⁶ Есть озера, в которых содержание Ca переходит в декаду 10^{-2} ; до $2,2 \cdot 10^{-2}\%$?

⁷ Есть озера, в которых количество Mg переходит в декаду 10^{-2} ; до $1,7 \cdot 10^{-2}\%$?

- ⁸ Может быть, серы бывает еще меньше. В некоторых анализах указываются «следы» иона SO_4^{2-} . Не принята во внимание сера органических веществ и H_2S , что не изменит порядка ее нахождения. Может быть, есть озера с $10^{-20}\%$ S.
- ⁹ Al и Fe могут быть не только в ионах Fe^{3+} и Al^{3+} , но и в форме мицелл – гидратов окисей (?).
- ¹⁰ Главным образом растворенный газообразный азот. Количество иона NO_3^- до $2 \cdot 10^{-4}\%$, NH_4^+ до $4,1 \cdot 10^{-5}$, в органических веществах количества порядка $10^{-40}\%$, может быть, больше. Планктон (Озеро Пестово) по А. Лебединцеву (1905) до $8,0 \cdot 10^{-60}\%$ N. В норвежских озерах (Holsfjord и Steinfjord) N организмов $1,1 \cdot 10^{-5}$ – $4,5 \cdot 10^{-60}\%$ (Стром – Ström, 1931). Для Селигера (и ближайших озер), по С.А. Озерову (1927), весь связанный азот $4,3 \cdot 10^{-5}$ до $1,2 \cdot 10^{-50}\%$, в том числе нитратного азота $1,2 \cdot 10^{-5}$ до $7,0 \cdot 10^{-6}$, нитритного азота от 0 до $1,0 \cdot 10^{-70}\%$, аммонийного азота $1,0 \cdot 10^{-5}$ до $7,0 \cdot 10^{-2}$, белкового азота от $2,4 \cdot 10^{-5}$ до $4,5 \cdot 10^{-6}$. Это не максимальные количества. Так, количество белкового азота доходит до 10^{-4} (оз. Великое в Рязанской губ., по А. Киреевой, 1926)– $1,7 \cdot 10^{-4}$, нитритного до $1 \cdot 10^{-50}\%$ NO_2 (оз. Белое). Азот изучен еще более подробно и тщательно для оз. Мендоза в Висконсине Джеммом и его сотрудниками. Здесь (1925) различено до 12 разных форм азота при общем количестве порядка $5 \cdot 10^{-50}\%$.
- ¹¹ Ионы H^{1+} и HO^{1-} не приняты во внимание, но это не влияет на порядок нахождения водорода. Находится в виде ионов NH_4^+ , в органических веществах.
- ¹² В виде ионов NH_4^+ .
- ¹³ Характер нахождения неясен.
- ¹⁴ К сожалению, органическое вещество пресных озер не изучено. Все указывает, что здесь наблюдаются очень различные по составу вещества и будут выделены разные воды. Это одна из ближайших задач. «Пруды» и озера среди богатых жизнью равнин имеют особые органические вещества. Огромное число имеющихся определений по окисляемости не было мною использовано. Необходимы прямые определения, и едва ли правильно тратить время и труд на такие неточные и непонятные числа, какими является так называемая окисляемость.
- ¹⁵ Озеро Пестово, по А. Лебединцеву (1905). Учитывается сухой. Живой планктон дает больше $1,0 \cdot 10^{-30}\%$. Псковское озеро очень богато планктоном (Н. Самсонов, 1914).
- ¹⁶ Для Рязанских озер (1926), по А. Киреевой.

Эти ничтожные числа имеют большое значение для различения озерных пресных вод и, как увидим ниже, колеблются даже в пределах развития разных почв. Эта величина рН связана в значительной мере с равновесием между растворенной CO_2 и углекислыми солями (ср. § 242), причем воды, содержащие углекислые соли, имеют рН большую, чем 7,07. Для прудов Южно-Европейской части Союза колебания этой величины – 7,55–8,15, для прудов на почвах темно-каштановых (переходящих в южный чернозем – 16 прудов) – 8,00–8,05, для прудов среди луговых почв (2 пруда) – 7,55–7,60 (Н. Веселовский, 1928).

629. Химический валовой состав озер дает все же лишь очень суммарное впечатление. При таком способе выражения исчезают от нашего внимания многочисленные виды, подвиды, различия озерных пресных вод, существование которых – обособление в природе в особых бассейнах – неизбежно и закономерно.

О некоторых из них можно и нужно уже сейчас сказать несколько слов.

Прежде всего возможно и необходимо различать пресные озера, лежащие в химически резко различных горных породах, так как очевидно, что на озерах более резко, чем на реках, отражается химия их бассейна, откуда реки и ручьи приносят им растворы и поскольку они, оставаясь на месте, разъедают и растворяют окружающие породы.

Влияние горных пород сложное – оно сказывается главным образом постольку, поскольку горные породы влияют на состав почв (их вод), рек, род-

ников и верховодок. Очевидно, его можно учесть в большинстве случаев лишь в неполной степени. Жизнь самих озер и вод, которые в них вливаются, влияет не менее сильно.

630. Сейчас можно лишь утверждать существование разных видов озерных пресных вод, но выделить все их нельзя. Можно выделить лишь некоторые, причем приемы разделения пока не объединены логически, произвольно эмпиричны. Можно указать на существование разных вод по величине рН и по составу ионных компонентов.

Очень ярко разделяются пресные озера по рН. С. Скадовский (1923) на основании изучения пресных озерных вод центральной (Московской обл.) выделяет главную массу озер с *нейтральной водой*, где рН = 6,9–7,3. Другой тип вод – *щелочные* воды с реакцией рН около 8,0 (старицы долины р. Москвы). Для средней Германии очень обычны воды с рН = 6,0–6,8 – *слабокислые* (Тинеман, 1925). Кислые воды отвечают болотам. Слабо кислые воды озер Германии бедны кальцием и иногда одновременно богаты гумусом.

631. По ионным компонентам можно выявить несколько разных озер. Следует отметить следующие¹:

- | | | |
|---------------------|--------------------------|-----------------|
| 1. O – Ca – C. | 4. O – Ca – Na – S – Cl. | 7. O–Mg–Na–S–C? |
| 2. O – Ca – C – S. | 5. Na – Cl. | 8. O–Na–C–Cl. |
| 3. Cl – O – Na – S. | 6. O – Mg – C. | |

632. К виду O – C – Ca относятся и самые большие пресные моря: самое большое по площади – Верхнее озеро в Северной Америке и самое глубокое – Байкальское море в Сибири². Химический состав этой воды виден из следующих анализов Р. Доля и М. Робертса (1909) для Верхнего озера³ и А. Франк-Каменецкого (1926) и сотрудников Байкальской станции Академии наук (1928–1930) для Байкала⁴ (в %).

O–C–Ca		O–C–Ca	
<i>Верхнее озеро (США)</i>		<i>Байкал</i>	
Плотный остаток $6,0 \cdot 10^{-3}$		$8,3 \cdot 10^{-3}$ – $4,3 \cdot 10^{-3}$	
<i>Элементы:</i>			
O ¹	$4,9 \cdot 10^{-3}$	O ²	$9,5 \cdot 10^{-3}$ – $4,6 \cdot 10^{-3}$
Ca	$1,3 \cdot 10^{-3}$	Ca	$2,1 \cdot 10^{-3}$ – $9,3 \cdot 10^{-4}$
C ³	$1,1 \cdot 10^{-3}$	C ³	$1,9 \cdot 10^{-3}$ – $7,1 \cdot 10^{-4}$
Si ⁴	$3,5 \cdot 10^{-4}$	Si ⁴	$4,3 \cdot 10^{-4}$ – $4,7 \cdot 10^{-5}$
Na ⁵	$3,2 \cdot 10^{-4}$	Na	$4,5 \cdot 10^{-4}$ – $3,6 \cdot 10^{-4}$

¹ Пресные озерные воды, изученные лимнологами (Э. Нейман, А. Тинеман, 1925), могут войти в эти виды, которые представляют более дробное деление, чем то биологическое – физико-географическое, – какое ими дается. № 2, 3, 5 относятся к эвтрофному типу, № 1 и, должно быть, № 2 – к олиготрофному. Дистрофный тип относится к бурым озерным водам.

² По Гальбфассу, Байкал по весу воды равен Балтийскому морю, хотя его площадь в 12 раз меньше.

³ Среднее из 11 анализов. Газы – O₂, CO₂, и N₂ не приняты во внимание. Если их принять, увеличится N (до $n \cdot 10^{-3}\%$), C, может быть, увеличится до $1,5 \cdot 10^{-3}\%$, O – до $8,0 \cdot 10^{-3}\%$.

⁴ Семь анализов. Приняты во внимание измерения Г. Верещагина, С. Кузнецовой, А. Щербакковой, в том числе газов CO₂ и O₂. Азот не учтен – до $n \cdot 10^{-3}\%$. Максимум углекислоты на 25 м – $5,9 \cdot 10^{-4}\%$.

Mg	$3,1 \cdot 10^{-4}$	Mg	$5,0 \cdot 10^{-4}$ – $1,3 \cdot 10^{-4}$
Sr	$1,4 \cdot 10^{-4}$	Cl	$3,6 \cdot 10^{-4}$ – $1,2 \cdot 10^{-4}$
Cl	$1,1 \cdot 10^{-4}$	H ⁷	$1,1 \cdot 10^{-4}$ – $6,8 \cdot 10^{-5}$
H ⁶	$8,3 \cdot 10^{-5}$	S ⁸	$2,1 \cdot 10^{-4}$ – $1,4 \cdot 10^{-4}$
S ⁸	$7,0 \cdot 10^{-5}$	K	$2,0 \cdot 10^{-4}$ – $1,4 \cdot 10^{-4}$
N ⁹	$3,4 \cdot 10^{-5}$	Al	$1,9 \cdot 10^{-4}$ –сл.
Fe	$6,0 \cdot 10^{-6}$	Fe	$4,2 \cdot 10^{-6}$ –0
Есть В.		pH	7,6–8,35 ¹⁰

¹ Ионы HCO_3^{1-} ($6,5 \cdot 10^{-3}\%$), SO_4^{2-} ($2,1 \cdot 10^{-4}$), NO_3^{1-} ($5,0 \cdot 10^{-5}\%$) SiO_2 (до $7,4 \cdot 10^{-4}\%$).

² Растворенный кислород $1,7 \cdot 10^{-3}\%$ (до 147% насыщения), ионы HCO_2^{1-} (до $8,7 \cdot 10^{-3}\%$). SO_4^{2-} (до $5,4 \cdot 10^{-4}\%$), SiO_2 (до $3,7 \cdot 10^{-4}\%$), CO_2 (до $5,6 \cdot 10^{-4}\%$).

³ Ионы HCO_3^{1-} . Для Байкала CO_2 .

⁴ SiO_2 .

⁵ Содержит и калий.

⁶ Из HNO_3^{1-} , NH_3 , NH_4^{1+} .

⁷ Из HCO_3^{1-} .

⁸ Ионы SO_4^{2-} .

⁹ Из NO_3 , белков. NH_3 ($1,2 \cdot 10^{-5}$), NH_4 ($6 \cdot 10^{-6}$).

¹⁰ Поверхностная вода Байкала нормально имеет pH = 8. На глубинах 25–100 м = 7,6 (С. Кузнецова и А. Щербакова, 1930).

Колебания состава этих вод лежат в пределах, приведенных в § 628, но конечные числа для большинства элементов не доходят до конечных пределов пресной озерной воды.

То же самое наблюдается и для вод, в которых преобладают Na, Cl и S, указанных выше.

633. Пресные озера состава O – Ca – S – C очень развиты в областях развития пород, богатых кальцием (например, на Алтае).

Вид воды озер O – Ca – S – C иногда генетически близок к виду Na – Cl – O – S.

634. Совершенно другой состав пресных озер среди *вулканических пород*, например, Эйфеля. Их состав выражается



но Mg и K находятся в очень заметном количестве.

Есть примеры относительно редкого вида – *магнезиальных озер* – Mg – O – C – воды Большого Алмаатинского озера (1929).

Озера типа O – Na – Cl – C, по-видимому, связаны с сухими и теплыми областями, например, оз. Гусиное в Сакраменто в Калифорнии. Это уже переход к соленым озерам (ср. § 634), где аналогичный класс озер распространен.

635. В озерах гораздо больше, чем в реках, отличаются по своему составу *донные озерные воды*. Благодаря замкнутости бассейна и относительной неподвижности их вод, процессы химического расслоения выражены в озерах чрезвычайно резко. Мы уже видели (§ 625), что это явление приводит временами к образованию соленых вод в придонном слое озера.

К сожалению, в общей форме придонные воды пресных озер не подвергались достаточно точному исследованию. К сожалению, их полных анализов

пет. Особенно отсутствие таких анализов донных вод мешает научной работе в изучении сапропелевых озер (§ 668).

Несомненно, эти воды составляют переход в воды иловые (§ 667). В них увеличивается ион SO_4^{2-} ; так, по С.А. Озерову, в поверхностной воде Переяславского озера его количество примерно $2,9 \cdot 10^{-4}\%$, в донной воде того же озера оно достигает $1,4 \cdot 10^{-3}\%$.

Для *кремния* данные В. Рылова для озер нашей страны и С. Йошимуры (Yoshimura) для Японии дают разные указания. Последний допускает увеличение кремния в донной воде.

Сильно концентрируются *азотные соединения*; так, для того же Переяславского озера, по С.А. Озерову, за 1919–1920 мы имеем (вес. %):

Весь связанный N	$4,9 \cdot 10^{-2}$ – $1,3 \cdot 10^{-1}$	(ср. $7,8 \cdot 10^{-2}$)
N амиачный	$3,7 \cdot 10^{-3}$ – $2,3 \cdot 10^{-2}$	(» $1,4 \cdot 10^{-2}$)
» белковый	$1,2 \cdot 10^{-2}$ – $3,5 \cdot 10^{-2}$	(» $2,0 \cdot 10^{-2}$)
» азотистокислый	$1,0 \cdot 10^{-4}$ – $8,0 \cdot 10^{-4}$	(» $4,0 \cdot 10^{-4}$)
» азотнокислый	$6,7 \cdot 10^{-3}$ – $1,0 \cdot 10^{-1}$	(» $4,8 \cdot 10^{-2}$)

Количество азота во всех его формах увеличивается с *глубиной в донной воде*: при переходе в воду иловую уменьшаются и сходят на нет кислородные его разности (ионы), но увеличение общего азота, сколько можно судить, продолжается. Вопрос требует изучения.

636. К сожалению, изучение химического состава донных вод для пресных озер оставлено без внимания, и сейчас мы не можем иметь о нем вполне точного представления.

Лучше наши сведения об изменении газового режима озерных вод с глубиной. Донная вода выявляется по своему газовому режиму довольно резко. Она временами принадлежит к другим подклассам.

Конечно, состав озера в вертикальном разрезе и отличие его глубоких частей меняются как вследствие физико-географических условий (глубины, замерзания сверху зимою и т.п.), так особенно благодаря жизнедеятельности организмов.

Это последнее явление – основной фактор газового режима, создающий из окружающей среды свободный кислород, углекислоту, иногда азот, сероводород и метан.

В озерах замерзающих, как озера нашего климата, состав воды зимою подо льдом, и летом резко иной, особенно если дело идет об озерах неглубоких.

Здесь в составе и характере пресных озер сказываются географические условия – геохоры (§ 559). Достаточно обратить внимание на озерные области – на сапропелевые озера, например.

По отношению к газам дело идет прежде всего о потере кислорода. Вода озера из среды *окислительной* становится средой *восстановительной*. Вся химия воды – и биохимические процессы в частности – резко меняются.

Кислород поглощается грязью озера – причем состав *воды* иловой всегда иной, чем состав озерных вод, обычной и донной. Для него устойчивой является восстановительная среда.

Этот, теперь самоочевидный, не возбуждающий сомнений, факт был кажется, впервые установлен в 1837 г. в Казани К. Клаусом. Позже начались

работы в Западной Европе. Успехи лимнологии и гидробиологии его установили с несомненностью.

Это поглощение растворенного кислорода грязью дна стоячей воды, озерной воды – несомненно в конце концов явление большого химического значения – является в основе процессом физическим. Газовая среда иловой воды не содержит свободного кислорода и его не создает; вследствие разности парциального давления кислород верхних слоев воды неизбежно должен уходить в озерной воде вниз в иловую атмосферу. Если озеро замерзает, т.е. потеряет сообщение с тропосферой, весь кислород может из него уйти.

Для данной воды наблюдается всегда иное содержание кислорода, углекислоты, органических веществ, и эти воды часто принадлежат к подклассам $N_2 - CO_2$, $N_2 - CO_2 - CH_4$ и $N_2 - CO_2 - H_2S$. Едва ли было бы правильно определять границу донной воды (верхнюю) по отсутствию кислорода, так как это признак очень меняющийся. Для оз. Белого (Мещерская низменность, Рязанская обл.), по Л. Россолимо (1928), например, летом над илом определенного характера вода лишена кислорода до высоты 2 м от дна, а в других местах он есть. Но в общем, в среднем, вода донная только бедна кислородом и легко его теряет.

637. Обращаясь к свободному кислороду, мы наблюдаем обогащение им в областях развития фитопланктона и зеленой растительности. Здесь временно получается пересыщение кислородом, т.е. его содержание в воде большее, чем его растворение в воде. Как указано (§ 220), это название едва ли правильно: мы имеем дело здесь с тончайшей эмульсией свободного кислорода.

Несколько примеров могут дать понятие об этом явлении.

Так, по А. Лебединцеву, придонная вода оз. Пестова в Новгородской обл. содержала (1905) $3,6 \cdot 10^{-5}\%$ O_2 , тогда как вода поверхностная содержала $8,1 \cdot 10^{-4}\%$. Но это количество колеблется по временам года, и та же донная вода того же озера может содержать в другое время нормальное количество кислорода (для Пестова оз. до $1,3 \cdot 10^{-3}\%$, по Лебединцеву). Для Переяславского оз. (1923, август) весовое содержание кислорода составляло (по С.А. Озерову) в придонной воде $2,2 \cdot 10^{-4}$ – $1,0 \cdot 10^{-4}\%$, тогда как на поверхности и глубже, до начала донной воды (выше температурного скачка) $1,1$ – $1,2 \cdot 10^{-3}\%$.

На оз. Глубоком Московской обл. Воронков (1913) нашел летом кислородный минимум на глубине около 8 м: то же явление было подтверждено С. Кузнецовым и Дупляковым (1921–1924). Причина неясная – ее ищут в биохимических явлениях, но гораздо проще и ближе к реальности видеть ее в равновесии, установившемся между разным характером газовых атмосфер – верхней озерной, заключающей O_2 , и иловой озерной, его лишенной.

Для 1921 г. наблюдались следующие количества O_2 (%):

На поверхности	$9,0 \cdot 10^{-4}$
На глубине 8 м	$3,7 \cdot 10^{-4}$
» » 13 м	$5,0 \cdot 10^{-4}$
» » 27 м	$3,9 \cdot 10^{-4}$

На поверхности весовое содержание свободного кислорода доходит до $1,9 \cdot 10^{-3}\%$; в донной воде в глубоких слоях отмечены колебания до $1,0 \cdot 10^{-3}\%$.

В отдельных случаях процент растворенного кислорода может сильно увеличиваться: максимальные числа наблюдались Э. Берджем (E. Birge) и Ч. Джюдай (C. Juday). В пределе кислород в озере Оттер в Висконсине 25. VII 1910 г. отвечал 396,2% насыщения (384–385% с поправкой Н. Книповича, 1930), на глубине 4,5 м. Весовой процент насыщения может превышать $4,0 \cdot 10^{-3}\%$, т.е. по объему более $30 \text{ см}^3/\text{л}$. Это число дает понятие об интенсивности геохимической энергии жизни.

638. Совершенно обратное явление наблюдается для *углекислоты*; – она накапливается в донной воде в целом ряде озер.

Увеличение растворенной углекислоты, связанное с биохимическими процессами, вызывает разнообразные химические процессы при наличии ионов кальция и железа в донной воде. Углекислота как газ исчезает, переходит в ионы, – в полусвязанное, а затем в связанное состояние, приводящее к выделению кальция в виде CaCO_3 . Придонная вода является источником углекислых ионов и для вышележащей обычной, озерной воды.

Для озер Висконсина Бердж и Джюдай (Birge и Juday, 1913) различили три типа вод по нахождению CO_3^{2-} и HCO_3^{1-} в их воде.

1. Озера с равномерным распределением связанной CO_2 во всей толще, при ее количестве не больше $1,2 \cdot 10^{-3}\%$ (ион CO_3^{2-}).

2. Озера с увеличением ее в донной воде и колебанием в воде озера от $1,6 \cdot 10^{-3}$ до $5,4 \cdot 10^{-3}\%$ (ион CO_3^{2-}).

3. Жесткие озера – связанная CO_2 доходит до $1,4 \cdot 10^{-2}\%$ (вычисленная как ион CO_3^{2-}).

Количество связанной углекислоты в донной воде есть в значительной мере функция жизни, а на поверхности озер, при мощном развитии фитопланктона, свободная углекислота – газ исчезает.

По наблюдениям Берджа и Джюдая, в Висконсинских озерах ионы CO_3^{2-} преобладают над ионами HCO_3^{1-} . В оз. Глубоком их число одинаково по объему (т.е. по весу $\text{HCO}_3/\text{CO}_3 = 1,016$).

Свободная углекислота увеличивается в придонной воде, доходя (оз. Глубокое, например) до $2,5 \cdot 10^{-3}\%$.

В связи с таким характером углекислоты реакция поверхности вод щелочная. (Для оз. Глубокого доходит до $\text{pH} = 8,5$), а реакция придонных – кислая ($\text{pH} =$ до 6,6). Во время осенней циркуляции получается для оз. Глубокого, по С. Кузнецову и С. Дуплакову (1923), $\text{pH} = 7,2$.

Количество *метана* в донной воде наблюдалось в пределах (легкий газ) $4,4 \cdot 10^{-4} - 2,8 \cdot 10^{-3}\%$, а H_2S до $6,7 \cdot 10^{-4}\%$. Эти равновесия намечены, но не изучены.

639. Отдельно должны быть выделены озерные воды, которые так резко отличаются в своем составе, что химические данные для них не введены в таблицу § 628.

Мы имеем здесь отчасти повторение тех же явлений, какие мы имеем для рек.

Сильно должны отличаться по химическому составу воды загрязненных человеческой деятельностью прудов и озер. Эти резко измененные человеком природные образования могут быть химически чрезвычайно разнообразны. Их рассмотрение выходит за пределы этой книги.

Однако вполне избавиться от этого фактора мы не можем – особенно для озер. Их состав очень резко отражает – более резко, чем это наблюдается для рек – изменение окружающей их природы.

Одним из наиболее резких химических изменений, вносимых человеком, является изменение органического вещества, растворенного в водах – появление новых веществ и изменение того органического вещества, которое вносится и в девственные озера.

Если можно сейчас оставлять без внимания озера, загрязненные отбросами фабрик и жилья, то нельзя не учитывать факт изменения химического состава озер или *прудов* – искусственных озер – под влиянием культуры. В рыбном хозяйстве мы имеем сейчас многочисленные случаи удобрений, вносимых в воду и вызывающих мощное развитие жизни.

Вся химия озера или пруда при этом резко меняется.

В водах культурных стран мы не можем избавиться от культурного фактора. Он, очевидно, влияет и на числа таблиц. Современные озера все изменены в своей химии человеческой деятельностью и изменяются с каждым поколением все значительнее.

640. Обращаясь к естественным озерам, богатым органическим веществом, мы встречаем новый тип, не известный для рек. Помимо *бурых и черных вод озер*, отвечающих приполярным и притропическим областям и аналогичным рекам, для озер наблюдаются своеобразные *болотные воды*, к сожалению химически мало изученные, которые не могут быть объединяемы с приполярными и притропическими озерами, хотя принадлежат к близкому семейству (§ 642).

Северные, богатые органическими веществами, озера были изучены недостаточно полно, но все же наиболее точно, финляндским ученым О. Асканом.

Вся динамика таких озерных вод должна быть особая: вероятно в связи с их малой прозрачностью (А. Thinemann, 1925) они лишены обычной в мелких озерах подводной растительности. В режиме их кислорода и углекислоты жизнь должна играть другую роль, чем в обычных озерных водах.

Особый вид представляют *озера – бурые и черные – тропических и подтропических стран*. Мне неизвестны анализы вод, отвечающих им.

Небольшую группу озер – стоячих вод – составляют *вулканические и гейзерные озера*.

641. К приполярным озерам, связанным часто с тундрами, близки *пресные болотные и торфяные воды*, семейство природных вод, отсутствующее для рек, кроме, может быть, некоторых их участков.

Анализы болотных вод немногочисленны и неполны и не могут дать достаточно ясного понятия об их химическом составе. Характер органического вещества, в них растворенного, не выяснен. Его относят к гуминовым кислотам, – но химические наши представления об этих телах сейчас очень спорны и гипотетичны. По-видимому, наблюдаются и другие кислоты (например, иногда муравьиная).

Ясен, во всяком случае, *кислый* характер этих вод. Органическое вещество их происходит от разложения своеобразной растительности, которая в особых условиях распада приводит к образованию торфа.

Возможно, что в некоторых случаях в болотных и в торфяных водах в органический комплекс входят железо, фосфор (?) и кремний.

Благодаря такому кислому характеру этих вод и большому количеству очень стойких органических веществ, в них входящих, жизнь в этих водах развита очень слабо. Ей не хватает неорганических питательных веществ, которые только приносятся метеорными водами.

Органическое вещество составляет очень значительную часть твердого остатка – до трети и более. Но взятое безотносительно, благодаря общему малому количеству сухого твердого остатка – количество органических веществ в болотных водах незначительно.

642. Состав болотных вод в сильной степени связан и с той растительностью (гниением ее), которая растет в водных болотных вместилищах и в конце концов их целиком захватывает; однако эта зависимость сложная: характер растительности, в свою очередь, зависит от химического состава болотной воды, например, сфагнумы не могут жить в водах, богатых кальцием.

Строящая болотную воду растительность берет свои питательные части главным образом не из болотной воды, а из метеоров, почвы и грязи. Той чисто водной растительности, которую мы имеем в озерах, здесь, в предельных типах болот, нет.

643. Можно довольно резко различить два типа болот по их генезису. Одни – более мелкие болота чисто поверхностного происхождения, образующиеся в связи с режимом метеорных вод и верховодок. Другой тип, связанный с историей озер, – болота более глубокие.

И тот и другой типы являются проявлениями больших процессов в биосфере, тесно связанных с живым веществом. Воды, получаемые в результате этих процессов, имеют общие характерные черты, насколько можно судить по современным недостаточным данным.

Первый тип связан с *лужами*, постоянными лужами (§ 587), топиями. Он связан в иных случаях с ростом в них таких вбирающих воду гигроскопических организмов, которые вбирают много влаги, как, например, сфагновые мхи.

Огромный процесс этого рода мы имеем, например, в таежных и вообще лесных массивах. Иногда получаются грандиозные явления, например, верховые болота Васьюганья, для которых есть некоторые скудные химические данные.

В общем вода болот этого типа совсем мало изучена. Кое-какие данные приведены ниже.

644. Другой тип связан с историей озер и является одной из непрерывно происходящих стадий изменения части пресноводных озер. Эти озера в ходе времени переходят или в болота или в соленые озера – в зависимости, прежде всего, от климатических условий, от режима метеорных вод, в первую очередь.

Когда в ходе времени *озерная* пресная вода превращается в *болотную* пресную форму, создаются в природе все переходы.

В связи с этим *соленые болота* этим путем получиться не могут: превращения пресных озер в болота и в соленые озера никогда не совпадают ни для одного озера; оба процесса идут в разных географических районах в зависимости от климатических и биологических процессов.

Соленые болота, химически совсем не изученные, имеют особое происхождение, связаны, например, с выходом подземных соленых ключей в пресное болото.

Несомненно, мы имеем много различных болотных вод, которые возможно сейчас выделить только очень условно, за отсутствием достаточно глубокого и тщательного исследования. Некоторые из этих вод являются стадиями промежуточными – при переходе пресных озер в болота и далее *болот в торфяники*.

Мы имеем, следовательно, такой цикл:

пресные озерные воды → разные болотные воды → торфяниковые воды.

В наших широтах, например, все болота переходят в сфагнумовые болота, и болотные воды принадлежат сфагнумовым болотным водам (§ 648).

645. Болотные воды во всех культурных странах чрезвычайно изменены деятельностью человека. В этом отношении они более изменены, чем воды рек и озер.

Это изменение для Европы и Северной Америки делает чрезвычайно затруднительным точное представление о составе этих вод: этой деятельностью изменен характер верховодок всей культурной области, и исчезли огромные площади болот. В западной Европе эта работа изменения – мелиорация – существовала уже две, три тысячи лет назад. Германия Тацита не была тайгой: ее природа пережила уже земледельческую культуру – главным образом, кельтских государственных образований в местах, позже населенных германскими, славянскими, литовскими племенами. Вероятно, в этой работе были большие колебания в ту и в другую сторону. С XI–XIII столетия темп мелиоративной культурной работы человечества усилился; с XVII–XVIII вв. он передвинулся сильно на восток – в Азию – достигши в XIX–XX вв. огромного значения. Одновременно с XVII в., а еще с большей интенсивностью с XIX в. он охватил континент Северной Америки.

Только сейчас начинает выясняться для нас огромная многовековая работа Китая, создавшая к первому тысячелетию до нашего летоисчисления нынешнюю природу Китая, связанную с исчезновением огромных болотных пространств. В меньшей мере – и на абсолютно меньшем пространстве в отвечающей болотам зоне южного полушария – наблюдается то же проявление многовековой культуры, усилившееся с захватом территории кавказской расой.

646. Помимо такого изменения, учесть которое можно в отдельных случаях, необходимо считаться с изменением, проявляющимся в историческое время, состава болотных вод и характера самих болот в связи с тем, что для болот наблюдается более геологически быстрый темп естественного изменения, чем это существует для озер и рек в связи с большими климатическими изменениями, идущими в северном полушарии при переживаемом замирании последнего ледникового периода.

Область развития болот и в частности колебания их площади в ходе времени тесно связаны с замиранием ледникового периода, отражение которого на природу мы изучаем сейчас в биосфере (§ 29, 69). Для средней Европы – для периода немногих десятков тысяч лет – перед нами выясняется следующая картина: в добореальное время рост болот; в бореальное – остановка – высыхание и облесение; в атлантическое – усиление и образование новых болот; в современную эпоху – прохождение вновь через стадии, аналогичные

бореальной и атлантической. По-видимому, сейчас вновь создается стадия, мало благоприятная болотам. Но здесь действие культуры резко нарушает ход естественных условий.

647. Дать общую химическую картину для болотных вод, хотя бы в роде таблицы § 628, мы сейчас не можем, так как анализов очень мало.

Чрезвычайно характерен *кислый характер* этих вод. Он меняется в разных частях одного и того же болота и болотистого озера. Так, Скадовский (1923) в Лузинском болотистом озере, богатом железом нашел, начиная от берега, три типа воды по рН: 1) 6,5; 2) 4,38–4,5 и 3) 3,2–3,8 – в середине. Для Васьюганья в лесных осокогипновых болотах рН колеблется от 4,04 до 6,48, в безлесных – от 5,28–8,08 (М. Барышников, 1929).

Существование очень большой кислотности, наблюдаемой Скадовским, подтверждается и дальнейшим изучением. Числа рН 3,2–4,5 могут считаться нормальными [Верле (Wehrle, 1928) и другие – для Германии и Швейцарии].

Эта величина слишком велика для так называемых гуминовых кислот и, надо думать, вызывается более сильными кислотами, должно быть, органическими (например, муравьиной и т.п.).

648. Сейчас разделить болотные воды на существующие в природе виды и подвиды можно (очень осторожно) только по ботаническим типам болот.

По биологическим и морфолого-географическим признакам выделено много разных типов болот. К сожалению, химическое изучение отвечающих им вод сильно отстало от их физико-географического и ботанического описания, и мы не знаем, насколько меняется состав воды в связи с изменением географического облика болот¹.

Болота не всегда имеют много воды – наблюдаются периодические их обеднения и обогащения водой, что, очевидно, должно отражаться на характере воды. Химия этого процесса, сколько знаю, не изучена.

Может быть, основным фактором является (Р. Аболин, 1928) в болотах генезис воды – 1) метеорная, атмосферическая, 2) грунтовая (верхняя подземная вода), 3) речная или ручьевая.

В связи с этим и с той растительностью, которая их покрывает, можно думать, что будут резко различаться следующие болотные воды²:

1. *Торфяные воды* (конечная форма болотных вод?).

2. *Топи* или *трясины* – связаны с речной или ручьевой водой. Без преобладания мхов.

3. *Сфагновые болота*, связанные с грунтовыми водами (беломошники Р. Аболина).

4. *Сфагновые болота*, связанные с метеорными водами (красномошники Р. Аболина).

5. *Гипновые болота*, связанные с метеорными водами (буромошники Р. Аболина).

¹ Их исследование особенно важно еще и потому, что здесь под влиянием жизни могут образовываться чрезвычайно чистые (химически) воды. Например, такова вода в сфагновых болотах, почти лишенная жизни и временами (?) бедная растворенными органическими веществами. Жизнь здесь находится на стадии голодания, подбирает последние следы питательных (растворенных) веществ.

² Вероятно, должны быть отделены от обычных болотных вод – *тундровые* наземные воды.

Существование химических различий несомненно, но сейчас не может быть достаточно точно выражено. Так, воды болот осоковых (№ 2 – одна из разностей?) гораздо более богаты зольными частями, чем воды болот сфагновых. По М. Смородинцеву и А. Адовой (1928) зольных частей $8,5 \cdot 10^{-3}$ – $1,4 \cdot 10^{-2}\%$ для осоковых вод, а для сфагновых $3,0 \cdot 10^{-3}$ – $4,1 \cdot 10^{-3}\%$. В то же время сфагновые воды очень богаты органическими веществами, на 80%, по И. Смородинцеву и М. Равич-Щербо – гуминовыми. Электропроводность тех и других вод, по тем же авторам, резко различна (для осоковых 201,97–327,0 $K_{18} \cdot 10^6$, для сфагновых 50,7–73,07).

Гипновые болотные воды – жесткие – богаты кальцием, сфагновые – им бедны.

Во всех моховых разностях должны быть отмечаемы по типу растительности травяные, кустарниковые и древесные болота, химический характер воды которых должен быть различен, но насколько различен – не знаем.

Особый тип болот представляют болота таких мест, как таксодиевые и *древесные болота* Северной Америки, некоторые из которых – таксодиевые приморские (Флорида) – являются носителями морских *соленых болотных вод*.

С химической точки зрения из болотных вод несомненно должны быть выделены их виды, в которых идет концентрация некоторых элементов, тесно связанная с их растительностью, но уже микроскопической.

Таковы болота, концентрирующие железо в связи с развитием железобактерий; по-видимому, такие болота связаны с топями и трясинами и должны давать переходы к тем железистым, грунтовым и наземным водам, которые связаны с образованием дерновых железных руд.

6. *Железистые болотные воды*. Это продукты жизнедеятельности ферробактерий.

Вероятно, связан в своей основе с жизнью и тот тип болотных вод, который дает *свободную серную кислоту*.

7. Кислые болотные воды с H_2SO_4 .

649. Болотные и торфяные образования дают начало разнообразным культурным водам, которые всюду сейчас распространены в Евразии и в Северной Америке в связи с широким развитием добычи торфа и превращения торфов и болот в культурные области.

В создании в болотах мелких, обычно, водоемов – карьеров, канав и т.п. – играют огромную роль лужи, т.е. метеорные воды и верхние пластовые воды, которые регулируются человеком. Эти воды проходят закономерные изменения в ходе времени. Для Московской области – по И. Смородинцеву и М. Равич-Щербо (1927) – с годами уменьшается концентрация вод, и в частности – количество органических веществ. Очень ясно проявляется различие осоковых и сфагновых компонентов стоячих вод (болотных луж).

Эти болотные воды не отделимы, по-видимому, от *вод торфяных*, для которых у нас еще меньше данных химического характера. Они создаются при тех же культурных условиях, в связи с мелиорацией торфяных разработок после их использования или во время работы. Они также очень богаты органическим веществом, бедны неорганическим остатком, богаты растворенной углекислотой. По неполному анализу В. Гинтля (Gintl), для таких вод (пруды и запруды), около Нейзее в Германии, мы имеем воду O–Ca–S подкласса N_2 – CO_2 – O_2 .

650. Среди поверхностных вод есть воды, которые, вероятно, должны быть отнесены к подряду *богатых углекислотой* вод подкласса $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-O}_2$.

Это воды мало изученные, теснейшим образом связанные с жизнью и ею создаваемые.

Они представляют как бы природные переходы к *культурным водам* (здесь оставляемым без рассмотрения), среди которых есть тоже воды этого подкласса.

Это *органогенные пресные воды*, играющие огромную роль во влажных областях, главным образом в лесистых и в болотистых местностях во всех поясах биосферы.

Органогенные воды образуют водоемы, расположенные на растительных организмах.

Наибольшее распространение они имеют в тропических и в подтропических областях, главным образом в среде древесной растительности. Они собираются в дуплах, листьях, цветах и т.п.

Можно различать два типа таких водоемов – временные, аналогичные *лужам* (§ 587), но не соприкасающиеся с землей, и *постоянные*. Происхождение и тех и других связано в значительной мере с метеорными водами. В общей истории воды эти небольшие в отдельности скопления отнюдь не безразличны, но их роль и их значение не выяснены.

Вода эта часто содержит большое количество *органических* веществ и вероятно часто является, согласно принятым в этой книге принципам классификации, *солеными водами* и даже *рассолами*. Немногие количественные данные будут указаны ниже. Вода в постоянных водоемах частью выделяется растениями, частью росяного происхождения, реже – происходит из дождей.

К сожалению, анализов воды этих вместилищ почти нет, но особая фауна (и флора) их более изучена. Вместилища на листьях в тропических и подтропических областях очень обычны у американских Bromeliaceae.

Их листья поглощают воду из воздуха, она собирается во влагиалищах листьев в количествах до 0,5 л. *Пикадо* указывает, что их заросли представляют как бы «фракционированные болота». Вода содержит трипсин и амилазу и очевидно имеет совсем особые свойства. Анализ нет. Это явление очень обычно, например, в Австралии в *Asplenium niger*, у нас среди Umbelliferae, во влагиалищах листьев (В. Алпатов, 1922) у *Angelica sylvestris* (мелкие вместилища в 2–3 см³).

651. Совершенно отдельно должны быть поставлены своеобразные пресные воды, которые содержат в виде зелей, а может быть разведенных гелей химические тела определенного состава – *коллоидальные воды*.

Этот тип вод чрезвычайно мало изучен и вероятно окажется очень распространенным.

Разнообразным образом культурная работа человечества создает подобного рода новые виды вод.

Из менее связанных или несвязанных с деятельностью человека пока можно выделить два семейства таких вод, но их вероятно значительно больше.

Это – воды серные и алюмокремневые. По-видимому, есть воды кремневые – вероятно, гидратные алюминиевые и железные.

Это воды быстро исчезающие, переходящие в твердые соединения и не

собирающиеся в очень больших скоплениях; они образуются во время разнообразных процессов выветривания; удобно их выделить в отдельное *семейство* коллоидальных поверхностных пресных вод.

652. Пока с несомненностью можно сюда отнести два подсемейства пресных вод. Во-первых, *серные* или *молочные* воды, и во-вторых, *ферри(алюмо)-силикатовые* воды.

К сожалению, химически они изучены – и те и другие – очень слабо.

Для серных вод мы имеем и *реки*, и *ручьи*, и *озера*.

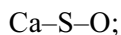
Вода рек, принадлежащих к этому подсемейству, резко отличается по своим внешним признакам, – во-первых, потому, что она обычно насыщена сероводородом, т.е. содержит примерно $4,5-6 \cdot 10^{-1}\%$ в пересчете на серу. В действительности количество серы при полном развитии процесса может быть еще больше, так как в сложных реакциях этих вод содержатся еще ионы HS^- и SO_4^{2-} (например, в р. Аргуни, по К. Харичкову, $5,6 \cdot 10^{-3}\%$ серы в этой форме). Наконец сера выделяется в свободном коллоидальном состоянии, образуя мути и эмульсии. Вода белая, и такие воды можно назвать *молочными водами*, по старому русскому народному названию, введенному в научный язык еще в 1759 г. М.А. Богдановым.

Количество растворенной CO_2 в этих водах не было определено, и возможно, что здесь есть два подкласса с CO_2 и без CO_2 – азотнокислородные воды – или два подряда (бедный и богатый CO_2).

При определении класса коллоидальных вод (так же как и суспензий), может быть, удобнее не учитывать коллоидных компонентов раствора и проводить деление на классы – пресные, соленые, рассольные – только по ионам и по химически растворенным комплексам.

Возможно, что количество коллоидной серы может временами достигать $10^{-1}\%$ по весу, но такое их «соленое» состояние является неустойчивым; H_2S уходит в воздух, приток его меняется, образуются ионы SO_4^{2-} , он поглощается могущественно в них развивающимся живым веществом. Река быстро принимает нормальный состав, может быть, лишь с максимальным содержанием ионов SO_4^{2-} .

По-видимому, для рек – по крайней мере для одной их группы – правильно будет выделить вид:



некоторые анализы дают до $1,4 \cdot 10^{-2}\%$ CaSO_4 и около $7,1 \cdot 10^{-3}\%$ H_2S .

Необходимы анализы.

Серные реки наблюдаются или в областях биохимического анаэробного изменения гипсоносных толщ (Куйбышевская обл.) или же в реках, питающихся сероводородными источниками.

Обычно вся система этих рек, их бассейн (во всем его объеме) образован водой того же подкласса – все ручьи, источники, пруды, озера, лужи и, очевидно, верхние пластовые воды. Здесь повторяются все те же семейства, которые наблюдались для других поверхностных вод¹.

¹ Судя по новейшим работам Бастина в Америке и Н.Г. Ушинского в Баку и их сотрудников, сероводородные бактерии идут глубоко внутрь земной коры, может быть, до 1 км и больше вглубь. Поэтому возможно, что значительная часть процессов, которая относилась мной

Точно так же, как в классе соленых вод, мы должны, вероятно в отдельных случаях, иметь повторения, отвечающие этому же подклассу вод азотно-кислородно-сероводородных.

653. Другое семейство коллоидальных пресных вод представляют *алюмо- и феррисиликатовые коллоидальные воды*.

Для этих вод есть серьезные данные думать об их большом значении в истории природных вод.

Указания эти двоякого характера – во-первых, история каолиновых глин в связи с перемещением их при процессах выветривания, и во-вторых, ход самих процессов выветривания, как он выясняется в умеренном климате мест нашего обитания.

Вероятно географический элемент должен играть большую роль в этих явлениях – но они так мало изучены, что сколько-нибудь уточнить явление сейчас нельзя.

Мы имеем – в истории каолиновых глин и каолинов – точные указания на широкое перемещение этих тел в *растворах* или в *псевдорастворах*. Вероятно это коллоидные растворы.

В дождевых потоках и в культурных ямах каолиновых месторождений, например Украины, мы имеем представителей аналогичных вод. Но воды этого типа явно не отвечают значению того явления, о котором идет речь, и не могут объяснить идущее в биосфере выделение каолинов и каолиновых глин из водных растворов.

Все указывает, что существует очень большое явление коллоидальных глинистых вод – в связи с созданием каолиновых залежей, – которое мы не замечаем.

Мне известен один случай научно исследованной воды этого рода, сделанный Э. Ведекиндом и А. Штраубэ (1922). Это случай внезапного выхода подземного родника, залившего большую базальтовую каменоломню в Витценгаузене около Верры. Образовавшееся озерко (до 7 м глубиной) содержит воду красного цвета. Вода представляет коллоидный пресный псевдораствор (до 1% коллоида), причем коллоид является в значительной мере ферриалюмосиликатом (по анализу каолинового ряда). Раствор (отделенный ультрафильтрацией) пресный ($\text{Na}-\text{Cl}-\text{SO}_4$). Если объяснение верно, то мы имеем здесь воду, возникшую, как и рудные воды, жизнедеятельностью человека; однако явление может быть связано и с водами, несущими в коллоидальном золе продукты изменения базальтов. Явление заслуживает большого внимания.

654. При таком исключительном значении, какое играют каолиновые глины в биосфере и в явлениях выветривания (§ 666), и при явном огромном участии в этих процессах поверхностных вод – воды, связанные с образованием глин, должны играть большую роль в механизме биосферы.

Мне кажется, сейчас начинают выясняться некоторые явления, которые вскроют в конце концов незамечаемый процесс.

С этой точки зрения очень интересны и важны наблюдения О. Харрасовича (1926 сл.) над выделением при выветривании горных пород средней Европы их верхних покровов, в том числе массивных, из коллоидных раство-

(1918–1922 гг., в моем «Опыте описательной минералогии») к месторождениям фреатическим, должна быть отнесена к области биосферы.

ров алюмоферрокремневых и кремневых *гелей*. Существование и широкое распространение свежобразованных гелей, мне кажется, Харрасовичем доказано на огромном пространстве.

Отсюда следует, что 1) поверхностные воды, собирающие продукты выветривания на земной же поверхности, выделяют гели всюду из золь и более грубых дисперсных систем, – остальной же раствор идет глубже (в конце концов в верховодки) и 2) что этот остаточный раствор может и не быть коллоидным раствором, а наоборот, раствором обычного типа.

655. Мы имеем всюду указания на следы этих вторичных изменений.

Таковы раньше отмеченные поверхностные сульфатные воды выветривания (§ 598–599).

Коллоидами пропитаны подземные воды выветривания (§ 666), входящие в поверхностные воды, какого бы происхождения они ни были. Гидраты, в них образующиеся, чрезвычайно легко переходят в гели, в поверхностных водах свертываются.

В областях пустынь и полупустынь можно ждать более резкого проявления таких же вод, связанного с быстрым выделением кремневых, алюмо- и феррикремневых гелей.

Таковы указания (А. Ферсман и Д. Щербаков, 1928) на исключительную подвижность кремнезема в пустынях. Судя по описанию А. Бродского (1928) темноокрашенных, лишенных органических веществ вод такыров в среднеазиатских пустынях, мы имеем там постоянное появление коллоидальных ферри-(алюмо)-силикатовых вод¹.

656. Очень широка и разнообразна область коллоидальных вод культурного происхождения. Это воды, временно существующие, быстро исчезающие, однако их нельзя оставлять без внимания. По плану этой книги я могу только их констатировать. Таковы воды, изменяемые кожевенными заводами, богатые, с одной стороны, органическими коллоидами, а с другой, и продуктами химического взаимодействия – сернистыми коллоидами (Са, As и т.д.).

Другой тип представляют коллоидальные воды, изменяемые фабриками и заводами, связанными с производством жиров, масел, мыл, обработки шерсти. Здесь в водах преобладают жирные кислоты и их соли, холестерин и т.п., дающие золи и эмульсии.

Вся эта область непрерывно создающихся человеческой волей и разрушающихся в равновесии биосферы вод ждет исследования с точки зрения ее влияния на это равновесие.

657. Среди многочисленных неколлоидальных культурных вод должны быть отмечены *рудничные воды*, тесно связанные с разрушением под влиянием метеорных вод и верховодок рудных месторождений, идущим в местах разработки рудных минералов.

Здесь, в связи с характером месторождения, получают не только стоячие воды на поверхности и в более или менее глубоких подземных сооружениях, но верховодки и метеорные воды, вступая в области стратисферы, не находившиеся раньше в соприкосновении с нашей воздушной оболочкой, на-

¹ Следует вспомнить наблюдения А.О. Шкляревского (1899) над бокситами и пиррофиллитами в полупустынях Западной Сибири.

чинают изменяться в новых условиях среды – вследствие образования новых растворимых продуктов.

Образуются эти воды под влиянием деятельности человека не по его желанию, а как следствие этой деятельности, причем в значительной мере являются новообразованием, с которым он должен бороться.

Идет окисление сернистых соединений, арсинов, соединений закиси железа. Образуются сульфаты и карбонаты и т.д. и соответственные воды.

Аналогичные воды могут образовываться и естественным путем – может быть, менее интенсивно – в пустотах и в трещинах естественных выходов рудных тел на земную поверхность.

658. Эти воды переходят в конце концов в соленые.

Сульфатные, карбонатные и сульфатно-карбонатные воды характерны для этого семейства.

Тщательное изучение этих вод имеет очень большой интерес и несомненно поможет выяснить как миграцию химических элементов в земной коре, так и то химическое изменение, которое создается в природных процессах деятельностью человека в психозойскую эпоху.

659. Переходя к следующему царству подземных вод, для класса пресных вод мы сталкиваемся с довольно быстрым прекращением этих вод по мере углубления в земную кору. Пресные воды – не в виде паров – во всех подцарствах и семействах этого царства кончаются уже в пределах стратисферы и может быть даже не заходят в ее нижние части.

Они образуются сгущением или паров наземной атмосферы, или атмосфер подземных, всегда богатых водяными парами, причем уже на очень небольшой глубине эти сгущающиеся пары быстро насыщаются растворимыми солями – в стратисфере в значительной мере остатками древних иловых морских вод – и дают соленые воды.

Глубже других идут восходящие горячие воды (ср. § 530 сл.) семейства минеральных источников (акротермы), генетически связанные с магматическими очагами (иногда связаны очень сложно) – гейзерные и сопочные воды. Они превращаются в жидкие растворы в биосфере или около ее нижних пределов. В сложном химическом процессе вулканических вод на поверхности же земли или около нее сгущаются из водяных паров и пресные вулканические воды.

Из подцарств для верхнего покрова (почвенных и иловых вод), пластовых вод биосферы, пластовых вод стратисферы, вод подземных водоемов, восходящих вод и волосных вод горных пород – для огромного большинства химия подземных вод чрезвычайно слабо известна.

Наиболее точны наши знания для вод пластовых и для семейства минеральных вод (акротерм) из вод восходящих.

660. К сожалению, первое подцарство вод *верхних покровов планеты*, находящихся в теснейшей связи непосредственно с тропосферой или отдаленных от нее водными массами – для пресных вод бассейнами суши, – несмотря на свое огромное значение очень мало изучено. Я отношу сюда почвенные и иловые воды – принадлежность проникнутых ими почв и грязей (илов) к одной категории явлений была ясна уже Бюффону, – и затем оставленные совсем в стороне воды подпочв.

Выяснение количественного состава этих вод встречает большие методологические трудности, к разрешению которых только что начинают подходить.

Все эти воды облекают сплошной оболочкой весь земной шар и должны быть богаты углекислотой.

Для разных почв и илов должны существовать многочисленные виды этих вод. Очевидно можно различить столько видов и разновидностей почвенных растворов или иловых вод, сколько существует разных почв и морских осадков, т. е. сотни видов и разновидностей.

Они распадаются на *три* больших семейства – вод *почвенных*, вод *подпочвенных* и вод *иловых (грязевых)*.

Все они в значительной мере представляют золи, богаты коллоидами; особенно резко это выражено для иловых вод.

Эти воды всегда содержат в растворе биогенные кислород и углекислоту и в значительной мере биогенный же азот.

Все эти воды только временами пресные – большей частью это солоноватые и соленые воды; редко рассолы (§ 850).

661. Для самых близких к поверхности подземных вод – *почвенных растворов* с точки зрения вод, их составляющих, вероятно необходимо выделить два семейства – *вод биогенных* для почв и вод поверхности суши, *лишенной видимого почвенного покрова*.

Их состав – и даже их существование – теснейшим образом зависят от режима метеорных вод.

В северных и южных влажных областях есть всегда избыток влаги в почвах, – воды, проникающие почвы, будут сильно разбавленными, пресными. При высушивании и недостатке метеорных вод они будут солеными.

Почвенный покров покрывает почти всю поверхность суши, однако есть значительные площади, для которых можно только с большой натяжкой говорить о почвенном покрове, хотя это часто и делают, – ибо в этих областях отсутствуют основные элементы почвы – зеленая растительность и микроскопическая жизнь (т.е. жизнь вне гравитационного поля), создающие почву.

Таковы разнообразные пустыни, покрывающие огромные пространства суши, существование и образование которых теснейшим образом связано с водным режимом поверхности планеты, ее бессточной области (§ 664).

Таковы снежные и ледяные пустыни, охваченные снегом и льдом, и пустыни песчаные или каменистые, лишенные поверхностных вод в большую часть времени своего существования.

Хотя здесь почв в собственном смысле слова и нет, отвечающие им верхние подземные воды есть. И в этих водах и в связи с ними идут своеобразные процессы выветривания (§ 667).

662. Эти воды плохо изучены. Очевидно, есть много видов таких вод. Во-первых, те воды, которые находятся в областях твердых фаз воды – вечно-го снега и льда; вероятно, это воды волосные – рассолы¹.

¹ Сюда же должны быть отнесены те воды, которые вызваны быстрым таянием в приполярных областях – грязевых потоков, значение которых было подчеркнуто Д. Андерсоном (1900) и названо им солифлюкцией. Воды, проникающие эти образования, сколько я знаю, химически не изучены. Они находятся и в других геохорах, там, где быстро тает снег, и должны быть химически отличны от других вод, например в Марокко, по Л. Жангилю. Это аналоги силевых вод (§ 589).

Во-вторых, воды сыпучих песков, например пустынных барханов. Для этих вод мы имеем некоторые данные, которые показывают, что здесь мы имеем и пресные и соленые воды. Распределение влаги песков, например барханов в Репетеке, по Б. Орлову (1922), дает указания на ее концентрацию на глубине 40–120 см. На поверхности влажность песка 0,1–0,3%, в слое концентрации – до 2%.

Эта вода представляет определенный раствор. Так, например, по анализам, приводимым В.А. Дубяйским, в песке с гребня самого большого бархана Кизыл-ляк, около Репетека водная вытяжка (500 см³ воды) дала растворимых веществ (вес. %):

Плотный остаток $1,6 \cdot 10^{-2}$

Элементы:

O ¹	$6,8 \cdot 10^{-3}$		
Ca	$3,4 \cdot 10^{-3}$	S	$4,6 \cdot 10^{-4}$
Cl	$2,2 \cdot 10^{-3}$	Mg	$3,4 \cdot 10^{-4}$
Na + K	$2,2 \cdot 10^{-3}$	H ²	$1,2 \cdot 10^{-4}$
C	$1,5 \cdot 10^{-3}$		

¹ Для этих вод: $\text{HCO}_3^{1-} - 7,4 \cdot 10^{-3}$, $\text{SO}_4^{2-} - 1,38 \cdot 10^{-3\%}$; SiO_2 в анализе не указан.

² Из HCO_3^{1-} .

В пустыне в гипсоносных и в глинистых частях их поверхности очень часто эти вытяжки являются солеными.

Для этих пустынь выступают на первое место своеобразные еще более глубокие подземные воды того же характера, богатые кремнием и алюмо- и феррисиликатами, солями, бедные или лишенные органических веществ. В них играют огромную роль коллоидальные процессы, и они в конце концов могут давать студневые и твердые опалы (§ 159).

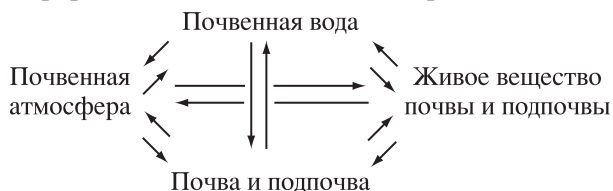
Кроме *кремнистых* и *алюмосиликатовых вод* здесь существуют воды того же характера *известковые* и гипсовые, быть может, железистые, быть может, соленые.

663. Огромное значение в истории воды имеют *почвенные растворы*, облекающие, за исключением пустынь, всю сушу и являющиеся основным субстратом жизни.

Некоторое понятие о значении этих водных растворов дают данные о массе такой воды. Для растворителя (т.е. для H_2O) этих вод В.К. Агафонов (1930) дает $1,77 \cdot 10^{16}$ г, т.е. в десяток раз больше веса всего свободного кислорода на земле.

Характер динамического равновесия, какое представляет природная вода, выступает для этих вод с чрезвычайной ясностью.

Это вечно и непрерывно изменчивая система равновесий.



Характерна в этой схеме сложность структуры не только «почвы», но и «воды».

К сожалению, мы не имеем сейчас возможности выделить и изучить химически почвенный раствор. Пока наши сведения о химическом его составе лишь самого общего характера и не могут быть с необходимой точностью выражены количественно.

Но можно утверждать, 1) что почвенные растворы различны в разных почвах, т.е. что есть по крайней мере столько почвенных растворов, сколько есть видов почв, и 2) что в каждом почвенном растворе одновременно надо учитывать расслоение на растворы, отличные и физически и химически.

Можно считать установленным, – как я уже указывал, – но не бесполезно подчеркнуть еще раз, что всегда наблюдаются по крайней мере три, а может быть четыре сосуществующих и закономерно связанных в почвенном растворе водных тела. Обычно говорят о нескольких различных состояниях воды в почве, но в действительности мы имеем в ней дело не с химически чистой водой, а с системой нескольких различных водных растворов, богатых коллоидами.

Каждый почвенный раствор есть сложное динамическое равновесие, неизбежно распадающееся под влиянием частичных сил на несколько между собою связанных, но не смешивающихся частей раствора.

В почвах и в подпочвах наиболее ярко проявляются частичные силы воды равновесия:

вода \rightleftharpoons твердое тело (§ 12).

Надо отличать воду «гигроскопическую», облегающую под влиянием частичных сил каждую песчинку и каждую пылинку, каждый коллоидальный комплекс почвы. Наши знания об этой воде чрезвычайно недостаточны и чрезвычайно упрощены. На нее целиком переносят представления физико-химиков о характере таких тончайших пленок *химически чистой воды*. Между тем едва ли можно сомневаться, что мы имеем в почве дело с *раствором*; это должно быть менее ясно для той тончайшей пленки (по Родвальду одномолекулярной), которая облекает все твердые элементы почвы. Неясно отношение такой пленки к коллоидным явлениям в почвенном растворе и в почвенных комплексах; здесь скорее можно было бы ждать химического ее отличия от мицелл. Надо было бы думать, что и в растворах эта гигроскопическая мономолекулярная пленка химически чиста, подобно обратному явлению – мономолекулярным жирным пленкам на поверхности воды. Как бы то ни было, эта капиллярная пленка в почве неподвижна и может быть удалена (при нагревании до нескольких сот градусов выше температуры кипения воды) только путем испарения. Она удерживается твердым веществом с силою, исчисляемую в тысячи атмосфер на см² (от 6000 до 25 000) (возможно, что она отвечает *твердому льду VI*).

Второй частью почвенной воды является вода «пленочная», в которой резко проявляются те свойства поверхностного натяжения, которые ярко сказываются в пенистых, эмульсионных жидкостях, мыльных пузырях, на поверхностях всякой жидкости.

Здесь мы должны допускать характер этой воды как *раствора*, возможно даже концентрированного. Мы, вероятно, имеем здесь дело с солеными

или рассольными водными пленками. Эта вода охватывает уже значительную часть почвенного раствора, иногда больше 10–15% по весу, в песке, по А.Ф. Лебедеву, – до 20%. Для нее и для гигроскопической воды есть точный прием разделения – она не удаляется из почвы центрифугированием (400 и больше оборотов в секунду). Гидростатическое давление в ней не передается – «это как бы твердая жидкость» (А.Ф. Лебедев, 1926). Она движется как жидкость – из слоя с более толстой пленкой в слой с более тонкой, и интенсивность этого движения не зависит от силы тяжести.

Главная масса почвенного раствора представляет обычную «гравитационную» воду, в которой можно различать разные формы физического состояния (по А.Ф. Лебедеву – капиллярную, подвешенную, в состоянии падения).

Сложность этих водных систем еще более усиливается химическим разнообразием самих почв, в которых почвенные растворы создаются.

Совершенно очевидно, что в пределах всей биосферы должны существовать сотни разных почвенных растворов.

664. Сложный характер почвенных растворов сверх всего находится в постоянном изменении под влиянием двух факторов. Первым будут явления наземной жизни. Прежде всего – растительность, которая покрывает почву и постоянно извлекает почвенный раствор (прежде всего – гравитационную воду), меняя его химический состав, так как она разное извлекает его компоненты. Затем микроскопическая – животная и растительная – внутриводная почвенная жизнь, которая меняет до чрезвычайности газовый режим водных растворов почвы и сверх того вносит в него и берет из него разные компоненты, например, вносит ионы NO_3^{1-} и NO_2^{1-} и т.п. Эта водная микроскопическая жизнь (амебы, бактерии, грибы и т.п.) находится частью во взвешенном состоянии в почвенном растворе.

Не меньшее значение имеют в ее составе метеорные воды и связанное с этим испарение воды в тропосфере.

Находясь на поверхности планеты в неразрывной связи с тропосферой – в среде, проникнутой газами и парами воды, – жидкая почвенная вода непрерывно то уменьшается, то увеличивается в своем количестве, постоянно разбавляется метеорной и росяной водой.

Пределы возможных колебаний обуславливаются в первую очередь состоянием мелкозема почвы – его влиянием на капиллярные, пленочные и коллоидные свойства проникающих его вод.

Максимальный предел обуславливается *влагоемкостью почвы*. Почва может сохранять в своем балансе, в зависимости от своей структуры, до 70 и больше % веса воды. Эта вода берется из паров, проникающих и осаждающихся в почве, и из тех метеорных осадков – дождя и снега, – которые падают на нее из атмосферы.

Она уходит из почвы в пары почвенного воздуха и в пары тропосферы берется живым веществом. Она поглощается и удерживается молекулярными силами почвенных частиц.

Эти силы ставят предел. Почва не может ни при каких естественных условиях ее бытия потерять последнюю воду. Почвенный раствор существует всегда – это есть проявление частичных сил почвы и воды, всегда находящихся на поверхности планеты – хотя бы в виде газа.

Ни вода гигроскопическая (обволакивающая ее частицы), ни вода пленочная (может быть часть?) никогда не теряются, всегда остаются в почве, составляют ее неразрывную часть. Это – явление, аналогичное природному сухому воздуху, никогда не теряющему всех водяных паров, или живому существу, ее всегда сохраняющему, пока жизнь в нем не разрушена.

Почва всегда проникнута газами, своей атмосферой, и эти газы всегда содержат водяные пары, поддерживающие и частичную и пленочную воду почвы. Самая сухая почва полупустынь содержит воду (удаляемую ниже 100–105 °С) и следовательно содержит почвенный раствор. Редки почвы, содержащие менее 1,0% H₂O (например, сухие подзолы средней России), обычно воды гораздо больше, например, сухие черноземы содержат 4–8% H₂O; почвы тропические и подтропические содержат в сухом состоянии гораздо больше, например, красноземы Чаквы – до 10% (9,9%). Реально в природе количество воды подымается до 40% и больше после дождей или таяния снега. Почвы свыше, чем с 15–25% воды, может быть, даже в наших широтах и зимою в тропических областях преобладают.

Почвенный раствор в почве *всегда есть* и сильно меняется. Обычно в нем более 10⁻¹% твердых и жидких компонентов, и он является, с точки принятой здесь терминологии, *соленым* раствором, переходящим на солонцах и, может быть, солончаковых почвах в рассолы.

В обычной почве, по-видимому, лишь временами – в дождливые периоды, может быть под снежным покровом, в наших широтах – он в целом является пресным.

665. Можно лишь очень неполно указать его состав: в нем играют большую роль органические вещества, частью находящиеся в виде золь, должно быть, алюмосиликатные золи, нитраты и карбонаты.

Для некоторых элементов можно дать и сейчас некоторые числа. По опытам американских почвоведов (Ф. Камерон, 1920), насыщенная водою почва дает для воды, выделенной центрифугой (вес. %):

$$\begin{array}{l} 5 \cdot 10^{-4} - 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ P}_2\text{O}_5 \\ 9,1 \cdot 10^{-3} - 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ K}_2\text{O} \\ 9 \cdot 10^{-4} - 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ CaO} \end{array}$$

Числа эти колеблются очень резко для разных почв, например, для песчано-лесной почвы Норфолька: $5 \cdot 10^{-4}$ % PO₄, $1,8 \cdot 10^{-3}$ % CaO, $3,1 \cdot 10^{-3}$ % K₂O.

Эта концентрация предельно малая; может быть, некоторое понятие о средней концентрации дадут числа, увеличенные в 5 раз (до $9,0 \cdot 10^{-3}$ % P₂O₅, $2,0 \cdot 10^{-2}$ K₂O, до $4,2 \cdot 10^{-2}$ CaO) и больше.

В главе о соленых почвенных водах я дам еще некоторые аналитические числа.

Надо думать, что в скором времени будет дана возможность химически количественно определить состав гравитационной – и может быть пленочной – области почвенной водной системы, благодаря в значительной мере работе русских ученых – А. Дояренко, с одной стороны, и А.Ф. Лебедева, с другой.

Почвенные воды должны быть более или менее насыщены углекислотой (содержат и кислород) и являются в связи с этим очень энергичными изменителями окружающего их вещества.

Надо отметить, что на характере почвенного раствора должен очень отражаться микрорельеф. Почвенный раствор может резко меняться и в разрезе иметь мозаичную структуру. Количественных данных нет.

Воды – вероятно метаморфизованные – *ископаемых почв* совершенно не подвергались химическому изучению, несмотря на большой интерес, связанный с изучением их. Мы знаем их, начиная с каменноугольной эпохи (болотных почв). Для третичного и послетретичного времени ископаемые почвы уже нередки.

666. Совершенно не изучена группа *вод подпочвенных*, огромного значения, теснейшим образом связанная с одним из основных процессов биосферы – с выветриванием (§§ 601, 602, 655, 660).

Ввиду того, что в настоящее время очень часто в почвоведении *понятие подпочвы* теряет то значение, которое оно имело прежде, например, как его понимал В.В. Докучаев, необходимо указать основания, заставляющие меня отделять почвенные воды от вод подпочвенных и с этой точки зрения сохранять в минералогической работе область подпочв как отдельную область явлений.

Она отличается по характеру вод и свойственным ей процессам выветривания очень резко и определенно как от почв, так и от покровов планеты (§ 660), лишенных почв. В то же самое время она теснейшим образом связана с поверхностью суши и в геохорах занимает совершенно определенное, отличное от других тел природы, место.

Следующие явления здесь должны резко отражаться на свойствах и твердой и жидкой фаз подпочвенных горизонтов: 1) в подпочвенном горизонте явления жизни – и бактериальной и грибной или животной, создающей в значительной мере *почву*, где они составляют по весу десятки ее процентов – отходят на второй план и должны в конце концов замирать. Соответственно первые продукты изменения отмерших организмов – являющиеся одновременно средой особой жизни и особых биохимических процессов – здесь тоже постепенно или быстро сходят на нет и в то же время в связи с газовым режимом идут иначе, чем в почвенной среде. 2) Газовый режим подпочвы одновременно с уменьшением биохимических и биогеохимических процессов должен претерпевать сильное изменение. Здесь благодаря уменьшению кислорода (и азота?) должно увеличиваться процентное количество углекислоты: это область подклассов вод $\text{CO}_2\text{--N}_2\text{--O}_2$, постепенно переходящих в подклассы $\text{CO}_2\text{--N}_2$. В подпочвах мы приближаемся или входим в область постоянной температуры, не зависящей от метеорологических условий, так мощно влияющих на химию почвы. 3) Наконец, здесь начинает сказываться влияние верховодок.

Все это заставляет думать, что воды, проникающие рыхлые или вернее водопроницаемые твердые верхние отложения планеты, должны химически резко отличаться от почвенных вод одинакового с ними физического строения. Это покажет дальнейшее исследование.

Если с точки зрения почвенных процессов является удобным не разделять морфологически почву от подпочвы, подпочвенные воды будут отвечать

верхним волосным водам (§ 827) горных пород, своего рода капиллярным верховодкам.

Я, впрочем, не думаю, чтобы отождествление почвенных и подпочвенных явлений было правильно и с педологической точки зрения.

667. Область подпочвенных вод является аналогом только что рассмотренных вод областей биосферы, лишенной почвенного покрова (§ 660).

Она по массе является преобладающей по сравнению с этими водами, так как подавляющая часть суши покрыта почвами и подпочвами.

Она резко отличается от них тем, что ее химический состав должен быть резко своеобразен, так как ее воды отделены от тропосферы почвенными водами, с которыми они непосредственно соприкасаются и в которые непрерывно переходят.

Обе аналогичные области являются *местом процессов выветривания*, огромной важности явления биосферы. Процессы выветривания, играющие чрезвычайно важную роль в создании почвы – ее вещества, отнюдь не могут считаться ею охватываемыми.

Водные растворы играют основную роль в процессах выветривания. Такими растворами являются растворы, проникающие породы, лишенные почвенного покрова, и подпочвенные воды.

К сожалению, при современном состоянии науки состав воды так называемого выветривания биосферы можно сейчас выводить только косвенным путем, наблюдая исходные и конечные твердые продукты выветривания.

В огромной литературе о выветривании собрано много данных, которые выходят за пределы этой книги, ибо так полученные представления о водных растворах выветривания являются только схемами, требующими подтверждения и очень осторожного к себе отношения. Сейчас здесь точных научных фактов – настоящих чисел, можно сказать, нет. Анализ вод, где сосредоточено выветривание, точных для них чисел, нет.

Является настоящей необходимостью изучить эмпирически, химически те части таких вод, которые доступны исследованию.

Воды выветривания отвечают водам поверхностным, в частности, длительным лужам (§ 587), почвенным, подпочвенным и верхним пластовым (грунтовым) водам верховодкам. Из них почвенные и подпочвенные воды являются по массе господствующими. В них идут процессы выветривания в главной своей части. Организмы, вода, углекислота и кислород являются главными агентами.

Воды эти, как ясно из сказанного, должны непрерывно переходить в верхние части волосных вод, проникающие верхние части горных пород суши, прилегающие к подпочвам.

Область выветривания идет на несколько метров вглубь от почвы, местами до 100 м и более. Вся область этих вод совсем не изучена. В учении о выветривании вместо изучения этих вод мы наблюдаем схемы, значение которых очень сомнительно.

В глинистых и мергелистых элювиальных и алювиальных отложениях, в лессовых и песчаных толщах мы имеем непосредственное продолжение подпочвенных вод. Изучение волосных вод и влажности лессовых пород, моренных и рыхлых глинистых толщ Евразии и Северной Америки, тропических и

подтропических элювиальных рыхлых масс, горизонтов вечной мерзлоты и т.п. является первой задачей исследования.

Для лессовых и «лессовидных» масс мы знаем, что они пронизаны легкорастворимыми солями и всякий раз во влажном состоянии должны давать капельножидкие и волосные пресные воды, а в сухом – волосную сеть солевых и рассольных вод.

Огромное значение в строении и составе этих вод имеет мощный процесс непрерывно идущего, связанного с барометрическим давлением тропосферы и верхней подземной их части колебания уровня верхних вод, верховодки.

Не только эти движения, но и климатические условия, и в частности характер солнечных и радиоактивных излучений, должны сказываться на свойствах и составе этих вод, в значительной мере являющихся коллоидальными водами (§ 651).

Благодаря этим колебаниям уровня верховодок может идти включение в эти воды выветривания компонентов ископаемых морских иловых вод, являющихся основной частью волосных вод осадочных пород.

Строение подпочвенных вод должно быть одинаково со строением почвенных и пластовых вод, т.е. состоять из неразрывной системы трех разных вод основного водного равновесия (§ 12).

668. Точно так же мало изучено семейство *иловых вод*, связанное с илом пресноводных водоемов – озер, рек. Как указывалось (§ 635), во всяком водоеме необходимо отличать придонную воду от воды, более близкой к поверхности. Придонная вода соприкасается с иловой и находится с ней в непрерывном химическом взаимодействии.

Анализы пресной иловой воды, несмотря на их значение для целого ряда научных и жизненных проблем, мне кажется, не делались. Сколько-нибудь новых – нет. По-видимому изменение воды иловой по сравнению с обычной водой водоема должно быть связано с характером дисперсности ила. Для тонких илов (С. Щукарев и С. и О. Косман, 1929) объем воды доходит до 4–19 объемов сухой грязи.

Ил водоемов переполнен жизнью, являющейся основным фактором ее здания; ил резко распадается по газам на два слоя, которые очевидно должны отличаться и по воде, им отвечающей: верхний слой – пелоген – обычно очень тонкий – содержит часто кислород (если он сохраняется в данной воде), и более глубокие нижние части илов, лишенные кислорода. Подкласс верхней иловой воды нормально отвечает формуле $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-O}_2$, а подклассы нижней – $\text{CO}_2\text{-N}_2$, $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-CH}_4$, $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-H}_2\text{S}$.

Анализы этих вод (с их газовым содержанием) требуют внимания, так как эти воды играют видную роль в создании сапропелей и их дальнейших производных и той солевой части, которая сохраняется в пластовых и волосных водах в осадочных породах.

Очевидно, число видов иловых вод значительно: для каждого вида пресной воды есть, по крайней мере, два их представителя.

669. Среди иловых вод требуют особого внимания сейчас иловые воды *сапропелевых озер*. Несмотря на специальные исследования сапропелей, у нас нет ни одного научно-точного анализа *сапропелевых озерных иловых вод*. Между тем этот анализ должен дать важные данные для познания генезиса сапропелей.

Работы В.В. Алабышева (1932) явно указывают на определенный зональный характер озер, сапропелевых озер в частности, и на разный химический характер их осадков.

В пресноводных озерах можно различить, как верно указывает Алабышев, обычные сапропели, известковые сапропели, кремнеземистые сапропели, сапропели, в которых отлагаются озерные железные руды (т.е. железно-марганцовые).

Очевидно, все эти илы имеют свои различные воды, о которых мы не имеем никакого понятия. Необходимо, чтобы этот пробел наших знаний был возможно быстро пополнен.

670. Очень мало изучены воды второго *подцарства пластовых вод*. Оно характерно для биосферы и для стратисферы.

Несмотря на огромное, первостепенное значение для человека, эти воды не только плохо изучены химически, но изучены плохо и морфологически.

Пластовыми водами я называю воды, которые и в науке и в общезнании сейчас называются разное – грунтовые (верховодка), артезианские, буровые, напорные и т.п. Для них характерно то, что 1) они связаны с осадочными, обломочными и туфовыми – водопроницаемыми – породами и что 2) они проникают эти породы, заполняя в них все их пустоты, их малейшие поры. Очевидно, в более рыхлых, менее сдавленных породах их будет больше. Есть осадочные породы, бедные этими водами или совсем их лишенные – водонепроницаемые породы, например, многие глины.

Эти воды находятся в глубине суши и под прилегающими частями морей – шельфа, приконтинентальных морей, в осадочных породах морского дна, где они должны иметь своеобразный характер, нам неизвестный, так как там они лишены верховодок, связанных с тропосферой, и отрезаны от метеорных вод.

На суше мы должны различить области, где в связи с подземным рельефом и с геологическим строением или развиваются или не развиваются пластовые воды. Всюду, где близко к земной поверхности или на самую земную поверхность выходят массивные и кристаллически слоистые породы, глубоких пластовых вод нет; это значительная часть суши. В этих частях земной коры встречаются только верховодки, но это верховодки особого типа. Это область вод подземных водоемов.

Пластовые воды выражены были слабо и в форме, неудобной для пользования, а потому и не изучены в горных странах. Здесь при резком нарушении падения пород стратисферы и их дробления на части – выступают резко явления метаморфизации, обычно геологически сводящие на нет осадочные породы.

Они не подходят к земной поверхности и не являются мощными в разбитых глубоко денудацией плоскогорьях или же где внутреннее распределение слоев не дает возможности скапливаться водам в значительные массы и собирать в осадочных проницаемых породах метеорные воды с больших поверхностей суши.

Только в тех случаях, когда в подземном разрезе водопроницаемые бассейны образуют большие области рельефа, отрицательного к поверхности, в виде водоемов, синклиналей, огромных сплошь заполненных такими породами чашеподобных углублений, дно которых образовано водонепроницаемыми

породами, мы встречаемся с обилием пластовых вод в земной коре. Огромное жизненное значение имеют подземные большие пластовые бассейны континентов.

671. При таком распределении пластовых вод, считаясь с указанным значением их вертикального распределения в земной коре, можно для этого подцарства различить следующие семейства:

I. Пластовые воды биосферы:

1. Верхние воды – частью верховодки (грунтовые воды).
2. Нижние пластовые воды биосферы, иногда напорные.

II. Пластовые воды стратисферы:

3. Верхние пластовые воды стратисферы.
4. Напорные воды стратисферы.

Несомненно эта классификация в дальнейшем изменится и расширится, но при современном состоянии знаний уточнять семейства (их конечно не два) мы не можем.

В этой области явлений, где мы не можем непосредственно наблюдать подземные водоемы, а только можем о них умозаключать, не вошли в общее научное понимание даже самые основные о них представления.

Это видно очень ярко уже в том, что – по отношению к пластовым водам – мнения о характере их водовместилищ до сих пор чрезвычайно колеблются: с одной стороны, их представляют подземными озерами, реками и т. п. водами, аналогичными поверхностным, – т.е. исключительно почти скоплениями капельножидкой воды, заполняющей или собирающейся в соответственных подземных пустотах (например, Принтц, 1921); с другой – они выявляются как проникнутые и охваченные медленно движущейся водой водопроницаемые породы (подземные сдавливаемые грязевые потоки), причем капельножидкая вода не собирается в сколько-нибудь значительные объемы. Она проходит через эти породы благодаря силе тяжести или давлению, оказываемому на эти породы газами, вышележащими породами и орогеническими процессами. Вода в своей характерной структуре сложная – капельножидкая, пленчатая и гигроскопическая (§ 12) – заполняет поры и пустоты рыхлых сдавленных пород, причем эти поры часто не видны глазу и становятся мельче – сдавленное – по мере углубления залегания подземных вод.

Очевидно, на основании принципов проводимой здесь классификации, *растворы подземных водоемов*, где резко господствует капельножидкая вода (аналогично наземным водоемам), должны быть резко отделены от пластовых вод, по крайней мере, в другое подцарство.

Подземные реки, озера, водные заполнения трещин и отдельных пустот в породах, часто наблюдаемые, геологическая роль которых очень велика, взятая в целом, и по своему генезису и по своему строению и химии отличны от пленчатогравитационных пластовых вод.

672. По-видимому, это отличие очень резкое, хотя это утверждать нельзя, так как возможны переходные случаи. Эти случаи возможны для пластовых вод биосферы, для верхних их частей, например для вод, проникающих крупные галечниковые отложения.

В огромном большинстве случаев пластовые воды, проникающие водопроницаемые породы – пески, песчаники, мергеля, известняки и т.п., резко отличаются от вод почвенных и вод поверхностных. Их движение, обычно

очень медленное, тесно связано с структурой, положением, с наклоном водопроницаемых пород. Все тектонические их изменения, складки, сдвиги, трещины, все перемещения их наклона отражаются на свойствах этих вод, вызывая, например, временами в трещинах выделения их капельножидкой части.

Одним из характерных отличий их вод является их чрезвычайная *неоднородность*: всюду образуются застои и идут медленные реакции с окружающей породой и с ископаемой иловой водой, частью метаморфизованной. В тех огромных плоских синклиналях, которые характерны для больших площадей Евразии, пластовые воды в центральных частях подземного рельефа на «дне» пластовых бассейнов должны быть почти неподвижны (Б. Личков для Украины). Разнородность пластовых вод до известной степени сглаживается в той капельножидкой их части, которая доходит до нас – но она может быть часто выявлена, если изучаются воды близких скважин.

Явление химически не изучено.

Не изучено в нужной степени для пластовых вод, далеких от поверхности, и свойственное этим водам их *движение*.

Здесь надо различать движение самой *воды* и медленное движение породы, как грязевого подземного потока. Последнее сказывается лишь в долгие промежутки времени (и в верхних горизонтах), но, очевидно, должно отражаться в химическом составе пластовых вод.

673. Пластовые воды теснейшим образом связаны с водами поверхностными и прежде всего – с водами метеорными.

Для пластовых вод биосферы – верховодок – метеорная вода (и лужи – § 587) является очень важной составной частью. Для глубоких биосферных пластовых вод значение метеорных вод падает – но оно сохраняется и глубже биосферы для пластовых вод стратисферы, постепенно сходя на второй план, или проходя долгий путь, во время которого метеорные исходные воды глубоко химически меняются (метаморфизуются), превращаясь, пока дойдут до пласта, в новые, резко отличные от метеорных, воды. Верховодка связана с тропосферой, от которой все остальные пластовые воды отрезаны.

В пластовых водах стратисферы начинают преобладать – тем больше, чем глубже – сжиженные водяные пары, все более высокой температуры по мере углубления, связанные с метаморфической оболочкой, – частью исходящие из магматических очагов, но в большой своей массе из паров всех вод нижних частей биосферы и всей стратисферы, постоянно выделяющихся во все пустоты – в том числе и мельчайшие, в них находящиеся – т.е. из водных паров подземных атмосфер. Этот источник поднимающихся снизу водяных паров имеет значение и для пластовых вод биосферы и для вод подземных водоемов (например, в области массивных пород), но здесь к ним всюду прибавляются более холодные воды подземного продолжения тропосферы.

Сжижение связано с тем, что в подземных атмосферах по мере углубления водяной пар должен играть все большую роль, и температура их в доступных нашему непосредственному изучению областях явлений все повышается. Попадая в верхние более холодные слои, подземные атмосферы неизбежно выделяют капельно-жидкий водный раствор.

Для верховодок огромное значение имеют воды почвенные и подпочвенные разного рода. Для них метеорные воды получаются из ближайшего, по отношению к их выходу, района.

Для более глубоких пластовых вод главный источник метеорных вод может отстоять (в проекции на земную поверхность) на сотни километров в сторону от мест нахождения воды.

674. Среди пластовых вод резко должны быть отделены *верховодки* – верхние ближе лежащие к земной поверхности их горизонты. Они во многом проявляют важные особенности.

Прежде всего эти воды через колодцы и источники находятся в непосредственной связи с тропосферой, тогда как для прочих пластовых вод такой непосредственной связи нет, и они лежат всецело в подземных атмосферах. Затем водный режим верховодок, в подавляющей их массе, определяется условиями современной картины земной поверхности, современными метеорными и покровными водами. Режим более глубоких пластовых вод мало зависит от земной поверхности; метеорный современный режим суши на них мало влияет; они являются проявлением геологической инерции – древних ископаемых метеорных и покровных вод.

Влияние современных условий – геохор (§ 559) – должно сказываться в верховодках, оно должно отсутствовать для более глубоких пластовых вод.

Мы имеем здесь огромную, почти не затронутую научной мыслью и еще меньше затронутую научным наблюдением, область явлений. Верховодки – характерная черта геохор и зонального характера физико-географических и биологических явлений биосферы; они всецело ими захвачены. Изучение поверхностных явлений дает ясные указания на характер этих вод. Так, из работ И. Крашенинникова следует, что в умеренно влажных разнотравных степях уровень верховодок высокий; пресные и соленые верховодки – и их проявление, пресные и соленые озера – одновременны, т. е. верховодки дают мозаичную структуру; пресная речная сеть редка, но полноводна. В сухих ковыльных степях уровень верховодок глубже, они беднее водой. После половодья пресные озера – впадины, летом – солончаки. Озера бессточные, большей частью соленые. В пустотных поленных степях они большей частью соленые. Бесчисленны эти явления, но очевидно закономерны и могут быть точно охвачены научной мыслью, когда география геохор будет установлена. Для познания верховодок это основная работа. Химия этих явлений находится в зачаточном состоянии.

По-видимому, можно будет точно определить предел и характер влияния геохор вглубь земного водного режима, обратив внимание, как это один из первых сделал Б.Л. Личков (1931), на *уровень эрозии*. Верховодки связаны в своем режиме с современным уровнем эрозии, – прочие пластовые воды ею не затронуты.

675. Человек произвел в этих водах не меньшее, вероятно большее изменение, чем в поверхностных водах. Он чрезвычайно изменил – и все больше изменяет – их установившийся многотысячелетний – иногда геологически древний (например, в Сахаре или в австралийских пустынях) режим. Он дал бурением выход им на земную поверхность, и эта работа все увеличивается в темпе и в значении.

До него путем выхода, при движении земных масс, на земную поверхность в биосферу «источников» лишь небольшое количество напорных вод и огромное количество верховодок входило вновь в поверхностный круговорот. Круговорот менялся этим путем только геологически, т. е. исторически

очень медленно в связи с передвижениями земных слоев. Сейчас здесь создается все больший и больший вынос подземных вод на земную поверхность человеческим усилием уже не в геологическом, а в историческом разрезе времени.

676. Выходящие на поверхность суши источники или буровые скважины далеко не всегда позволяют отличать разные семейства этих вод и даже отличать их от вод других подцарств – например, минеральных источников.

Этим создается значительное затруднение при толковании анализов, с которыми мы имеем дело.

Эта трудность связана не с сутью дела, а с незначительной изученностью этих явлений и с недостаточной точностью обычной гидрогеологической и геологической работы. Разные воды смешиваются в описаниях вместе, физический и химический их анализ обычно совсем не делается. Самые основные данные отсутствуют.

Точное определение температуры, количественный анализ растворенных газов (т.е. характер той подземной газовой атмосферы, откуда приходит вода), наконец положение воды в определенной геосфере – в биосфере или в стратисфере – в частности обычно совершенно остается без внимания.

Правда, сейчас, когда столь важная черта строения ближайшей части земной коры, как уровень кислородной поверхности, обычно нам неизвестен – это сделать не всегда легко. Но все же подойти к решению вопроса всегда возможно.

Благодаря этому, мы сейчас не можем точно и безошибочно распределить и имеющиеся неполные химические анализы по семействам и подклассам подземных вод.

677. Всюду – для всех подземных вод – мы имеем закономерную смену *подземных газовых атмосфер* в вертикальном разрезе планеты, причем поверхность, отделяющая одну атмосферу от другой, не является математически идеальной, а есть подвижная сложная фигура, вероятно находящаяся в непрерывном медленном движении и изменении.

Все поверхностные воды ограничены одной и той же – в общем всюду одинаковой – газовой атмосферой – *тропосферой*. Эта тропосфера отрезана от подземных вод: она отрезана поверхностными твердыми породами и прежде всего *почвенным и подпочвенным покровом*, обладающим своей атмосферой, чрезвычайно богатой *углекислотой* и *парами воды*. Состав этой атмосферы всегда резко отличен от тропосферы.

Тропосфера (в убывающем порядке): $N_2-O_2-H_2O-CO_2$.

Почвенная атмосфера (в убывающем порядке): $CO_2-N_2-O_2-H_2O$? (может быть в иные моменты вода стоит на втором месте?).

В подпочвенной атмосфере CO_2 увеличивается, O_2 уменьшается.

Количественное определение растворенных газов всегда позволит точно определить характер той подземной газовой атмосферы, откуда вода приходит.

В стратисфере и ниже подземные атмосферы, по-видимому, в главной своей части состоят из водных паров, из газов, к ним примешанных, глубже всего, вероятно, идут углеводороды и может быть азот (§ 679).

Подземные газовые атмосферы, вероятно, очень меняются в разных участках суши.

678. Подземные воды в подавляющей своей части лишены и другой основной черты газового режима наземных вод: они неизбежно на некоторой – разной – глубине *лишены жизни*. Из области биосферы они переходят в область стратисферы.

В общем эта граница кажется резкой и всегда может быть точно определена, хотя бы потому, что основным фактором газового режима вод является мельчайшая, микроскопическая жизнь, область изучения которой – микробиология – вся охвачена точной физико-химической методикой.

Отсутствие жизни сразу и резко меняет газовый режим подземных вод по сравнению с водами наземными и верхними подземными.

По-видимому, раньше всего исчезает аэробная жизнь и еще раньше – биохимический синтез кислорода, требующий света.

Глубже всего идет анаэробная жизнь, создающая сероводород.

Верховодки все лежат в биосфере в области жизни. Анаэробная жизнь в них всегда есть, когда есть сообщение с тропосферой; присутствие хотя бы малого количества кислорода дает возможность и аэробной жизни.

Сейчас биологическое, главным образом микробиологическое, изучение пластовых вод есть задача дня, ибо все указывает на очень глубокое распространение анаэробной жизни в пластовых водах. Предел, должно быть, кладет температура.

Для окончательного суждения нет наблюдений.

679. Хотя газовые подземные атмосферы не меняются одинаково правильно с глубиной в разных местах на одном уровне от центра земли и хотя мы их знаем очень плохо, – все же общий порядок смены газов с глубиной может быть указан и он выдерживается на огромных пространствах (§ 218, 232 сл.).

По всему, что мы знаем, можно установить, что раньше всего исчезает *свободный кислород* – по-видимому, в пределах верхней части коры выветривания.

Быстро начинает выступать на первое место *углекислота*, которая, однако, с углублением является неустойчивой в газообразном состоянии (в пределах биосферы).

Глубже идет *азот* – однако и для него все увеличиваются указания на его уменьшение в более глубоких водах.

Возможно, что в глубинах выступают углеводороды, главным образом метан. Возможно, что количество газов (помимо газообразной воды) в пределах тех нескольких километров, с которыми мы имеем дело в стратисфере, вообще уменьшается.

Задача ближайшего будущего выяснить это явление. Это может быть сделано систематическим количественным определением во всех подземных водах растворенных в них газов.

680. Мы должны учитывать такое крайне неполное и несовершенное наше знание химии подземных вод, когда мы подводим ему итоги.

Но даже воды, химически исследованные, не дают сколько-нибудь достаточно полного представления о пластовых водах в месте их нахождения. Ибо до нас доходят и подвергаются химическому анализу лишь *части* этих вод – капельножидкие. Воды гигроскопическая и пленчатая равновесий «твердое тело \rightleftharpoons природный раствор» (§ 12) нам недоступны.

Химически все эти три воды не могут быть одинаковы, но явление это до сих пор не изучено. Нужных фактов нет.

681. Своеобразный характер пластовых вод выступает все резче по мере того, как мы углубляемся в стратисферу. В ней явно преобладают соленые воды, однако есть и пресные. *Точное определение границы соленых и пресных (resp. рассольных) пластовых вод* является сейчас очередной и важной задачей для выяснения истории природных вод.

Сейчас мы это точно сделать не можем.

По мере углубления пластовые воды меняются в своем характере и в своем составе. Два явления должны быть отмечены: 1) эти воды становятся с глубиной *напорными* – обладают в биосфере давлением (§ 551), в значительной мере в связи с положением проникнутых ими подземных пород и с их выходом на земную поверхность, нередко очень далеко от места исследования данной пластовой воды, и 2) значение в их составе метеорных вод быстро уменьшается с глубиной, частью потому, что метеорные воды должны химически сильно изменяться, пока они дойдут в донную воду.

В напорных водах большое значение приобретают для соленых вод метаморфизованные остатки древних донных и иловых морских вод осадочных пород, а для пресных – водяные пары подземных атмосфер.

682. Глубже верховодок пластовые воды обладают давлением (напорные воды), независимым от барометрического давления наземной атмосферы, которому подчинены верховодки.

Одно из проявлений напора – давление – дало повод называть их артезианскими (от французской провинции Артуа, откуда в средние века пошла в Западной Европе техника бурения, добыча глубоких пластовых вод). Артезианские воды, под влиянием давления, выходят на поверхность биосферы и иногда бьют фонтаном. В общем для очень многих из них явление ясно связано с геологическим строением и точно объясняется свойствами жидкостей – законами гидростатического давления.

Однако давление напорных вод не только гидростатическое – оно вызывается и другими причинами; это явление сложное, связанное и с газами и с напором все более горячих с глубиной подземных атмосфер, с общим проявлением силы тяготения – давлением вышележащих слоев на водоносные – не движением земной коры.

Углубляясь в земную кору, выходя за пределы кислородной поверхности, входя в область высокой температуры, постепенно увеличивающейся, и подземных атмосфер отличного от тропосферы состава, напорные воды подвергаются медленной и непрерывной метаморфизации.

При этом они неизменно и обычно довольно быстро теряют свой пресный характер и переходят в воды соленые.

Нельзя забывать, что пластовые воды – геологически длительные явления.

Я уже указывал, что поверхностные воды нашей биосферы в иных случаях существуют с середины третичного периода, может быть раньше – десятки миллионов лет.

Пластовые же воды стратисферы могут оставаться на своих местах, постоянно метаморфизуясь, дольше. Возможно, что правы те геологи, как Грегори, которые считают, что в огромных подземных соленых пластовых бассейнах Австралии (§ 802) человек выводит на земную поверхность образования мезозойской эры.

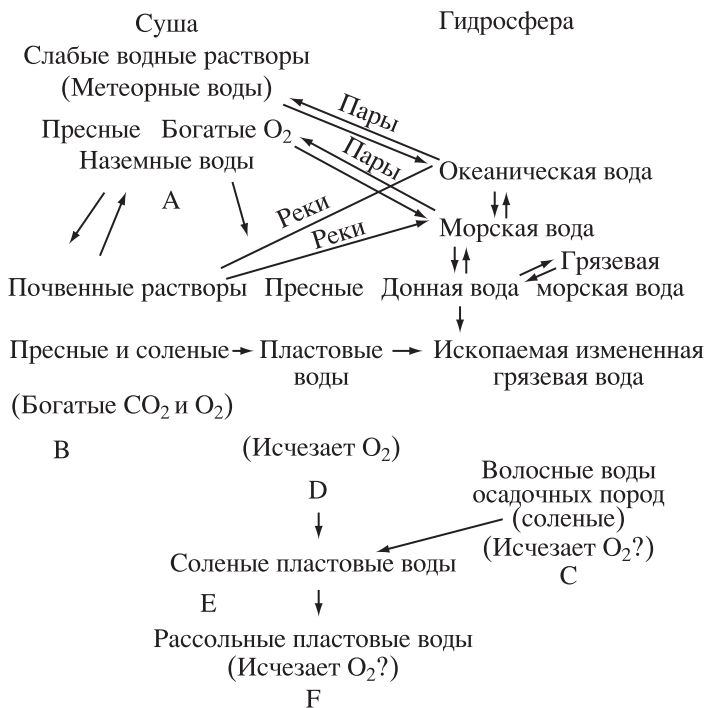


Рис. 11. Схема пластовых вод биосферы и стратисферы

Пластовые воды, добываемые сейчас бурением в Южной Африке, по очень правдоподобию заключению Пассаргэ, отвечают климатическим явлениям, существовавшим на ее поверхности в плейстоценовую эпоху, в плювиальный период, отвечавший оледенению Евразии.

683. Солеными на некоторой определенной глубине становятся пластовые воды неизбежно, не только благодаря метаморфизации.

Они сами являются частью того механизма земной коры, *который связан* с круговоротом вещества между гидросферой и сушей. Одна из самых *важных частей компонентов* пластовых вод получена ими из морской воды. Проникнутые ими породы – в подавляющей массе древние измененные морские осадки, несущие в себе остатки донной и иловой вод древних морей и бывших в них солей. И те и другие входят в конце концов в состав пластовых вод.

Осадочные породы, образовавшиеся на суше, играют в стратисфере вторичную роль и тоже очень часто являются солеными, так как связаны с сухими и жаркими областями суши – с бессточными областями, где скопляются осадки, – областями солонцовых почв и соленых озер.

Эти области суши сами часто являются частями того же механизма, так как находящиеся в них осадочные породы являются очень часто, можно сказать обычно, в бессточных областях суши остатками замирающих морских бассейнов, переходящих в породы суши.

684. Они позволяют видеть (в части своих проявлений) тот процесс *выщелачивания* молодых морских отложений, попавших в царство наземных вод суши, в котором соленые волосные воды пород и соленые, т.е. содержа-

щие растворимые соли, морские осадочные породы превращаются в пресные осадочные породы с пресными волосными водами.

Только верхние части морских осадочных пород, прошедшие в своей истории через биосферу, освобождаются от остатков донной и иловой морской воды и могут при образовании пластовых вод – при проникновении метеорных вод – дать начало пресным пластовым водам.

Ниже относительно небольшой глубины в стратисфере – а иногда и в биосфере – могут существовать только соленые пластовые воды.

Пресные воды образуются лишь в пределах выщелоченных морских осадочных пород.

685. Схема (рис. 11) дает понятие о механизма образования пластовых вод биосферы и стратисферы.

Конечные воды F – мало известны. Они встречены при некоторых глубоких бурениях (в этих водах характерный компонент CaCl_2), но область соленых вод наступает очень быстро, и уже стадии В и С сами по себе часто, даже обычно соленые.

686. К сожалению, химически и верховодки и напорные пластовые пресные воды не могут сейчас быть точно и определенно характеризованы, несмотря на довольно большое количество анализов, связанных с большим житейским бытовым значением этих вод.

Среди семейств должны быть отделяемы от других пластовых вод биосферы верхние пластовые воды – верховодки; они одни непосредственно связаны с тропосферой.

Хотя мы сейчас этого не можем сделать благодаря неполному описанию геологического залегания вод, – должны быть отделены нижние *пластовые воды биосферы* от вод стратисферы.

В пределах пластовых вод стратисферы нефтяные пластовые воды должны быть выделены в особое семейство.

Всюду важно отделять ряды подклассов: кислородный и бескислородный.

687. Наши познания о химическом составе верховодок (верхних *грунтовых вод*), несмотря на огромное значение этих вод в жизни, чрезвычайно неудовлетворительны.

Они находятся в непосредственной связи с метеорными водами. В них собираются метеорные воды при их проникновении в почву и подпочву. Они находятся в некоторой связи с тропосферой, что сказывается в том, что уровень их отражает ход барометрического давления.

Многочисленна их связь с поверхностными водами – многие топи, ручьи, родниковые воды (§ 588) являются их выходом на земную поверхность. В бесчисленных *колодцах* человек связывает верховодки с водами метеорными и с тропосферой.

Огромно влияние на них почвенных и подпочвенных вод; между глубокими горизонтами подпочвенных вод и верховодками есть реальные переходы. Подпочвенные воды, связанные с подземной росой, находятся с ними в непосредственной связи.

Наземная растительность, – например, леса, степные травы – проникает в верховодки, меняет состав их вод, вынося (избирательно) их компоненты на поверхность биосферы.

688. Состав компонентов верховодок создается еще более сложным путем. Если часть его приносится водами метеорными, почвенными, водами беспочвенных поверхностных покровов, т.е. связана с выветриванием (§ 666), другая происходит из наземных вод, тесно связанных с наземной жизнью и с выщелачиванием (§ 602).

В некоторой части всегда входят в состав верховодок «ископаемые» морские иловые воды, оставшиеся на месте после поверхностного выщелачивания морских осадочных пород (§ 753 сл.). Возможна связь с верхними водами подземных водоемов, подходящих близко к земной поверхности (§ 666).

Во всех этих случаях мы сталкиваемся с выветриванием, и надо думать, что роль в процессах выветривания вод верховодок основная, не меньшая, чем вод подпочвенных.

По-видимому, это явление имеет место особенно в тропических и подтропических областях, где мощность выветрелых слоев, особенно в областях влажных, чрезвычайно велика. Массивные и метаморфические породы и их верховодки проникают здесь глубоко, иногда на сотни метров от земной поверхности.

Эта область вод химически совсем не изучена.

Здесь необходима работа точного химико-физического изучения этих вод – непочатая и благодарная область исследования.

Изучение их должно идти в тесной связи с географическим элементом природы – с геохорами (§ 559).

Точное количественное, химическое изучение этих явлений имеет первостепенное значение и для почвоведения, и для геологии, и для минералогии. Основной процесс выветривания – история силикатов и алюмосиликатов коры выветривания – теснейшим образом связан с тщательным изучением – в указанном аспекте – верховодок. Но и образование целого ряда других минералов коры выветривания (например, сульфатов) идет здесь, причем часть этих реакций, и по-видимому очень значительная, идет в верховодках и в связи с верховодками. Происходит не только выпадение из растворов, но идут и сорбционные явления: переработка и химический обмен охваченных верховодками горных пород. Здесь область образования леверрьеритов, переработка глауконитов, образование ярозитов. Минералогически эти процессы изучены очень недостаточно.

689. Газовый режим верховодок определяется соотношением между кислородом и углекислотой.

Они содержат кислород только тогда, когда они находятся в непрерывном общении с тропосферой. Это, в общем, имеет место только для некоторых из них и обычно на небольших протяжениях.

Хотя кислородная поверхность биосферы (I, § 240) проходит через верховодки, – эти воды все же обеднены кислородом по сравнению с поверхностными водами. Его содержание, вероятно, одного порядка с кислородом *донных вод*. Для вод Голштинии (А. Тинеман, 1924) количество его колеблется в пределах 3–45% насыщения кислородом при данной температуре; они содержат от $4,2 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-40}$ % кислорода по весу. В верховодках хвойных лесов Швеции количество его, по Гессельману и Мальмстрему, от $4,0 \cdot 10^{-5}$ до $1,1 \cdot 10^{-3}$ %; он быстро сходит на нет.

Кислород может исчезать нацело уже на немногих десятках метров – может быть, на 10–15 метрах глубины. Ниже воды должны были бы перейти в воды азотно-углекислые, но немногие верховодки, которыми мы располагаем, указывают на резкое преобладание CO_2 .

По-видимому – вероятно под влиянием жизни – преобладание CO_2 становится все более ярким по мере того, как мы приближаемся от почвы и подпочвы через осадочные породы биосферы к стратисфере. Для О–С–Са вод есть следующие определения *растворенных газов* (в весовых процентах) для окрестностей Иены и Веймара Эргарда и Рейхардта (Ehrhardt, Reichardt, 1875): $\text{CO}_2 - 5,5 \cdot 10^{-3} - 3,8 \cdot 10^{-3}$, $\text{N}_2 - 2,4 \cdot 10^{-3} - 1,9 \cdot 10^{-3}$, $\text{O}_2 - 1,1 \cdot 10^{-3} - 8,6 \cdot 10^{-4}\%$.

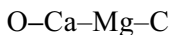
690. Химически в этих водах – в отдельных видах – выступают ионы Ca^{2+} (отчасти Mg^{2+} и Fe^{2+}) и Na^{1+} , SO_4^{2-} , Cl^{1-} , HCO_3^{1-} (отчасти CO_3^{2-}).

Вероятно будут выделены многочисленные виды верховодок в зависимости от преобладания в данной местности того или иного из основных процессов: выветривания, разъедания или ископаемой воды осадочных пород, сорбционных процессов. Геоморфологические условия должны сказываться очень сильно.

Сейчас можно отметить:

1) *карбонатные воды* Mg и Ca, причем эти воды содержат небольшой избыток CO_2 (подвижный), вызывающий в коллоидном растворе, какой представляют из себя эти воды, при замирании их, выпадение карбонатов Ca и Mg. Этот процесс, на значение которого указал Тильманс, по-видимому, играет большую роль в биосфере; 2) *кремневые воды*, причем часть кремния входит в коллоидальные мицеллы SiO_2 ; наконец 3) воды Na–Cl–S–C–O и 4) Ca–S–O. Этот перечень далеко не исчерпывающий.

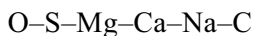
Как пример воды карбонатной можно привести одну из верхних вод в рудном районе Мичигана, воду:



Сульфатные и хлористые воды местами играют заметную роль среди колодезных (верховодки) и пластовых вод биосферы вообще.

Среди них можно выделить карбонатно-сульфатные воды. В них преобладает то Ca, то Na, то Mg.

Состав воды:



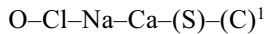
По мере углубления в пластовых водах отпадает влияние метеорных, почвенных вод, процессов выветривания и резче выступают морские компоненты осадочных пород и выпадения подземных атмосфер (§ 681).

К сожалению, современный материал не дает возможности проследить изменение химического состава пресных вод как функцию глубины.

Общий химический состав пресных вод глубоких колодцев и бурений до глубины 200–250 м виден из ниже приводимой таблицы. Она сохраняется в общем и для более глубоких вод, как это видно из немногих мне известных анализов (например, с глубины воды 712 м из Бьютте в Монтане; включены в эту таблицу): они не меняют пределов этой таблицы; вносятся новые элементы, может быть, обычно не определяемые (Zn, Cu). Дальнейшие анализы

покажут, надо ли разделять глубокие пресные пластовые воды от верхних их представителей.

Это воды 2-го бескислородного ряда. Уже с глубиной 15–20 м кислород из этих вод исчезает. Перед нами воды подклассов N_2-CO_2 и CO_2-N_2 .



Плотный остаток $1,0 \cdot 10^{-1} - 1,3 \cdot 10^{-2}\%$

Элементы:

O ²	$5,2 \cdot 10^{-2} - 5,3 \cdot 10^{-4}$	H ⁶	$6,4 \cdot 10^{-4} - 6,6 \cdot 10^{-7}$
Cl	$3,4 \cdot 10^{-2} - 1,3 \cdot 10^{-4}$	N ⁷	$6,3 \cdot 10^{-4} - 7,6 \cdot 10^{-6}$
Na	$2,5 \cdot 10^{-2} - 2,8 \cdot 10^{-4}$	Al	$1,4 \cdot 10^{-4}$
Ca	$1,5 \cdot 10^{-2} - 1,0 \cdot 10^{-4}$	Ar	$7,0 \cdot 10^{-5}$
Mg	$1,5 \cdot 10^{-2} - 4,0 \cdot 10^{-5}(0)$	P ⁸	$6,4 \cdot 10^{-5} - 2,4 \cdot 10^{-6}$
S ³	$1,5 \cdot 10^{-2} - 1,8 \cdot 10^{-4}$	Mn	$5,0 \cdot 10^{-5}$
		Zn	$3,0 \cdot 10^{-5}$
C ⁴	$7,6 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-4}$		
Si ⁵	$7,1 \cdot 10^{-3} - 1,9 \cdot 10^{-4}$	He	$6,2 \cdot 10^{-11}$
K	$5,3 \cdot 10^{-3} - 2,7 \cdot 10^{-4}$ сл.	Ra	$1,8 \cdot 10^{-13} - 9,6 \cdot 10^{-14}$
Fe	$2,0 \cdot 10^{-3} - 5,0 \cdot 10^{-6}$	Rn	$5,7 \cdot 10^{16} - 1,6 \cdot 10^{-17}$ (газ)

Органические вещества $1,2 \cdot 10^{-3}$.

Есть As, Cu, V.

¹ Эта общая формула, очевидно, при более тщательном исследовании уточнится. Ясно, что временами Cl, Ca выпадут из характерного комплекса этих вод.

² Из CO_3^{2-} (до $2,4 \cdot 10^{-2}$), SiO_2 (до $1,3 \cdot 10^{-3}$), SO_4^{2-} (до $5,3 \cdot 10^{-3}\%$), NO_3^- (до $2,4 \cdot 10^{-3}$), PO_4^{3-} (до $1,9 \cdot 10^{-4}$), HCO_3^- (до $3,0 \cdot 10^{-2}\%$).

³ Из SO_4^{2-} .

⁴ Из CO_3^{2-} . Введение в таблицу элементов растворенного органического вещества не изменит, по-видимому, пределов для углерода. По прямому определению Пикона (1932) для французских вод (три анализа) процент такого углерода колеблется ($2,3 \cdot 10^{-4} - 4,0 \cdot 10^{-3}\%$).

⁵ Из SiO_2 .

⁶ Из NH_4^{1+} , HCO_3^- .

⁷ Из NO_3^- из NH_4^{1+} (до $9,0 \cdot 10^{-5}\%$).

⁸ Из PO_4^{3-} .

692. Общее явление – замена на некоторой глубине в биосфере и в стратиферу пресных пластовых вод *солеными пластовыми водами* – представляется несомненным.

Также ясны и те два основных фактора, которые к этому приводят.

Одним является морское происхождение большинства осадочных пород, проницаемых для вод. Остатки морских иловых или донных вод, или бывших в них солей, определяют состав пластовых вод: в огромном большинстве случаев эти воды являются солеными.

Другим является геологическое время и повышение температуры более глубоких слоев, вызывающее большее растворение водой солей осадочных

пород, большее химическое взаимодействие между водой и веществом пород и большее испарение самой воды: пресная вода осолоняется; это явление аналогично в известной мере с осолонением – в ходе времени – пресных стоячих вод – озер – в биосфере (§ 622–623). Аналогия тем большая, что глубокие части пластовых вод стоячи, неподвижны.

В связи с этим более глубокие пластовые воды, воды, находящиеся в более древних осадочных породах и воды в морских осадочных породах, должны быть в главной своей части солеными.

В этих областях пресные пластовые воды будут играть второстепенную роль, не идут глубоко от уровня верховодок. Большинство глубоких пластовых вод действительно солены.

Но в природе есть и другие процессы, которые приводят к обратному явлению, к созданию *больших вместилищ пресной пластовой воды* на глубину до километра и больше от земной поверхности: это явление может наблюдаться местами среди развития мощных отложений терригенных пород, содержащих иловые пресные воды, и много позже после своего образования и уже в виде готовых пород, впитывающих метеорные воды. Сейчас геологи (Б.Л. Личков, 1932 г.) начинают все точнее выяснять образование мощных терригенных пород в связи с историей пресных поверхностных вод и их распространение в истории земной коры в осадках озер и речных дельт. Это недостаточно пока учитываемое геологическое явление имеет свое отражение в пресных подземных бассейнах пластовых вод. Эти бассейны создаются в результате тектонических явлений.

Такие случаи нам известны; они не охвачены обобщающей мыслью и химически мало изучены.

Одним из самых ярких является огромный, в большей части пресноводный подземный бассейн Южной Дакоты в Северной Америке, где сеноманские терригенные песчаники (примерно 100–150 миллионов лет) сохранили и собрали на глубину до километра и глубже от уровня моря пресную и соленую воду состава O–Na–S.

Этот бассейн захватывает восточную и западную часть Южной Дакоты, части Северной Дакоты, Небраски и прилежащих штатов Северной Америки; это самый большой бассейн пластовых вод Соединенных Штатов и один из самых больших в мире. Количество пластовой пресной воды вероятно наибольшее из известных. В Северной и Южной Дакоте вычерпывается вода (частью соленая) почти 15 000 буровых скважин, идущих местами до (одного километра) глубины. Падение песчаников ясно указывает ее существование и на большую глубину: вода неподвижна и распределена среди песчаников в виде огромных линз. От уровня моря водный горизонт лежит на глубине 300–550 м; 10 000 буровых Южной Дакоты дают по В. Рёсселю (1928) в минуту 378 500 л воды. В связи с этим человек непрерывно высасывает воду и за 15 лет уровень горизонта вод упал на десятки метров (15–60 м). Средняя мощность водоносных линз – 15 м. Соленая и пресная воды, химически близкие, – связаны с древней геологией сеноманского времени: пресные бассейны лежали в прибрежной морской полосе. Я не могу сейчас дать сколько-нибудь полной таблицы состава этих вод, так как главная литература была мне недоступна. Ca^{2+} и CO_3^{2-} играют в ней заметную роль, хлор – меньше. Коэффициент нерастворимого остатка $10^{-2}\%$ – большой.

Есть еще органические вещества. Ясная вода O–Na–S.

693. Должны быть поставлены отдельно пресные напорные воды, связанные с *нефтяными месторождениями*. Ибо эти воды – пресные, соленые и рассольные – обладают особым газовым составом, часто с содержанием кислородных кислотных компонентов нефти¹ и часто (всегда?) с повышенным содержанием Ra и его изотопов.

Эти воды должны быть выделены, даже если окажется, что они в известном виде представляют соленые и рассольные коренные нефтяные воды, разбавленные поверхностной водой. Не исключена возможность и пресных вод первичного происхождения (например, для Грозненского района).

Явление находится в стадии исследования. Известные факты не дают еще ясной картины: но все же удобно выделить воды, обогащенные радием и его изотопами как характерные для нефтяных вод. Сделать это окончательно сейчас мы не можем; теоретически значение этого признака пока не установлено. Для пресных обогащение радия реже указано и может быть его (иногда?) нет.

Пресные воды менее обычны. Следующие числа (преобладают данные для Ухты) дают понятие о характере воды. Ее формула по господствующим компонентам будет O–Cl–Na–C–Ca. Но, конечно, это смесь должно быть разных вод. Может быть есть Na- и Ca-разности и бедные или богатые Cl.

Плотный остаток $1,0 \cdot 10^{-1}$ – $2,9 \cdot 10^{-2}\%$

Элементы:

O ¹	$4,6 \cdot 10^{-2}$ – $1,8 \cdot 10^{-2}$	Mg	$4,2 \cdot 10^{-3}$ – $2,3 \cdot 10^{-4}$
Cl	$3,3 \cdot 10^{-2}$ – $5,5 \cdot 10^{-3}$	Si	$1,7 \cdot 10^{-3}$ – $8,0 \cdot 10^{-4}$
Na	$2,9 \cdot 10^{-2}$ – $1,9 \cdot 10^{-3}$	K	$1,7 \cdot 10^{-3}$ – $5,5 \cdot 10^{-4}$
C ²	$1,1 \cdot 10^{-2}$ – $4,2 \cdot 10^{-3}$	H ⁴	$8,9 \cdot 10^{-4}$ – $4,0 \cdot 10^{-4}$
Ca	$1,0 \cdot 10^{-2}$ – $6,7 \cdot 10^{-4}$	Fe	$1,9 \cdot 10^{-4}$ – $1,4 \cdot 10^{-4}$
S ³	$7,8 \cdot 10^{-3}$ – $7,0 \cdot 10^{-5}$ сл.	Al	$5,7 \cdot 10^{-5}$

Есть H₂S

¹ Из HCO_3^{1-} (до $5,4 \cdot 10^{-2}\%$); SO_4^{2-} (до $2,4 \cdot 10^{-2}$); SiO_2 (до $3,5 \cdot 10^{-3}\%$); CO_2 (до $1,7 \cdot 10^{-4}\%$).

² Из HCO_3^{1-} , CO_2 .

³ Из SO_4^{2-} .

⁴ Из HCO_3^{1-} .

694. *Воды подземных водоемов – третьего подцарства* – чрезвычайно мало химически изучены.

Ввиду их малой изученности – и того, что обычно их не рассматривают отдельно, предлагаемое здесь разделение семейств имеет вероятно временный характер. При дальнейшем изучении, очевидно, будут выделены новые семейства сверх здесь приведенных, найдены новые, точнее определенные виды.

¹ Нефть и вода не смешиваются и не растворяются и встречаются в природе рядом, но отдельно. Нефтяные эмульсии (главным образом по Сельскому, 1923; капли воды, т.е. капли водного раствора в нефти) образуются, по-видимому, искусственно, при добыче нефти. В нормальных природных условиях их нет? Или они временны?

Сейчас можно отметить следующие большие семейства:

1. Воды в пустотах и в трещинах твердых массивных пород и кристаллических сланцев.
2. Воды коррозионные, среди которых имеют большое значение богатые Са воды карстовых областей.
3. Подземные реки и озера.
4. Воды ледниковых покровов (подледниковые).

Все эти воды характеризуются как своим генезисом, так и своим строением: они заполняют пустоты более или менее значительных размеров, а не проникают поры рыхлых или плотных пород. Благодаря этому они по своей структуре аналогичны поверхностным водам и часто очень резко отличаются от подземных вод, таких, как почвенные, иловые, пластовые воды.

695. Ввиду малой изученности этих вод сейчас невозможно численно выразить их химический состав хотя бы в той степени, как это сделано для вод поверхностных (наземных), пластовых, вод минеральных источников.

Некоторое понятие можно дать о подземных водах в пустотах массивных и кристаллически слоистых пород.

Обычно их не отделяют от тех подземных вод, которые объединены в группу пластовых вод. Часть этих же вод (как и пластовых) в таблицах анализов, здесь помещенных, попала в семейство минеральных источников.

Ясно, что это состояние наших знаний длиться не может, должно быть и, по-видимому, скоро будет изменено.

Для пресных вод с несомненностью установлены воды О–Са–С–, по-видимому, воды, богатые Na, они быстро переходят в воды соленые¹.

Карбонатные воды, богатые растворенной CO_2 , преобладают, по-видимому, в зависимости от той газовой атмосферы, которая характеризует стратисферу. Для этих вод характерно обогащение *кремнием* и *связанным азотом* и относительная бедность хлором. Несомненно при химическом разнообразии тех массивных пород, которые входят в состав твердого вещества верхних геосфер, надо ждать, что состав данных вод будет очень различный: например, должны быть резко отличны воды базальтовых, гранитных, нефелино-сиенитовых пород, хотя бы исходной для них и являлась одна и та же метеорная вода. Возможно, что в этих трещинах сохраняется и вода, связанная с последними стадиями застывания массивных пород, – вода гидросферы для подводных вулканических пород, паров подземных атмосфер для интрузивных пород стратисферы².

Очень возможно, но не исследовано, что среди вод этих пород можно ждать вод двоякого характера; во-первых, вод – *первый тип* – связанных с метеорными осадками подобно верховодкам и верхним пластовым водам, и во-вторых, вод – *второй тип* – от метеорных вод независимых.

По-видимому, воды первого типа не могут идти очень глубоко в земную кору (как могут идти пластовые воды), ибо трещины практически не встречаются глубже 600 м от поверхности, а трещины на границах соприкосновения

¹ Благодаря любезности Б.Л. Личкова и В.А. Унковской я мог ознакомиться с новыми неопубликованными анализами вод из скважин гранитной области Украины (Умань, Бердичев, Винница, Бердянск). Преобладают воды О–Са–С, иногда О–Са–С–S (ион SO_4) и редко О–Са–Na–С–Cl. Есть обогащенные ионами NO_3^- до $1,1 \cdot 10^{-2}\%$.

² Насколько ничтожны и несовершенны наши знания об этих водах, видно, например, для южнорусского кристаллического массива из сводки Б.Л. Личкова (1930).

разнородных пород, обычные места сборных вод, не идут в среднем глубже 60 м (Имбо, Imbeaux, 1930).

Но есть еще трещины и пустоты внизу, которые образовались в больших массивах вне связи с земной поверхностью, в связи с процессами застывания или тектонических глубоких смещений. Воды, их замещающие, особенно интересны и заслуживают особого внимания.

696. От вод подземных водоемов есть переходы к водам пластовым, но эти переходные воды при тщательном геологическом изучении могут быть всегда отделены от тех вод подземных бассейнов, которые только и должны быть отнесены в это подцарство.

Очевидно, воды осадочных пород, для которых кристаллический массив является непроницаемым, относятся к пластовым водам. Более сложно, может быть, происхождение тех вод, которые собираются в верхнем, измененном выветриванием слое кристаллических пород, например, в воде каолиновых отложений южной Европейской части Союза, лежащих на гранитных массивах, из которых они произошли (древний элювий). Здесь вопрос требует особого исследования.

Трещины и пустоты, в которых находится вода в массивных породах, могут давать и *воды напорные*.

Химическое изучение таких вод, в связи с вышесказанным, заслуживает особого внимания. Для вод в трещинах гранитов указываются давления, достигающие до 7000 кг/см². Давление этих напорных вод подземных водоемов далеко не всегда может быть точно объяснено.

697. Следующие примеры состава североамериканских вод 1-го типа в гранитных породах могут дать понятие об их химическом составе.

Анализ неполный. Нет определения NH₄⁺. По-видимому, есть разности: 1) карбонатные и 2) сульфатные.

I – единичный анализ гранитной воды, II – средний (и колебания) анализ гранитных вод (вес. %):

	I	II
	O–Ca–C	Cl–Ca–Na–O–S ¹
		<i>Плотный остаток</i>
	2,8 · 10 ⁻²	средний 2,2 · 10 ⁻³ (4,2 · 10 ⁻³ –8,1 · 10 ⁻⁴)
		<i>Элементы:</i>
		Cl 1,4 · 10 ⁻³ –1,5 · 10 ⁻⁴ (ср. 4,5 · 10 ⁻⁴)
		Ca 6,2 · 10 ⁻⁴ –1,1 · 10 ⁻⁵ (ср. 3,3 · 10 ⁻⁴)
		Na 6,1 · 10 ⁻⁴ –9,6 · 10 ⁻⁵ (ср. 2,3 · 10 ⁻⁴)
		O ⁵ 5,4 · 10 ⁻⁴ –1,1 · 10 ⁻⁴ (ср. 2,1 · 10 ⁻⁴)
		S ⁶ 1,9 · 10 ⁻⁴ –3,2 · 10 ⁻⁵ (ср. 6,2 · 10 ⁻⁵)
		Si 1,5 · 10 ⁻⁴ –3,9 · 10 ⁻⁵ (ср. 7,1 · 10 ⁻⁵)
		K 1,3 · 10 ⁻⁴ –1,7 · 10 ⁻⁵ (ср. 5,5 · 10 ⁻⁵)
		Mg 9,0 · 10 ⁻⁵ –1,8 · 10 ⁻⁵ (ср. 4,6 · 10 ⁻⁵)
		Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ 4,7 · 10 ⁻⁵ –1,1 · 10 ⁻⁵
		Орган. вещ. 7,4 · 10 ⁻³ –5,2 · 10 ⁻⁵ (ср. 4,6 · 10 ⁻⁴)
O ²	1,3 · 10 ⁻²	
Ca	6,4 · 10 ⁻³	
C ³	2,6 · 10 ⁻³	
Cl	2,5 · 10 ⁻³	
Mg	1,7 · 10 ⁻³	
Na	1,5 · 10 ⁻³ (заклучает K)	
Si	1,0 · 10 ⁻³	
S ⁴	6,2 · 10 ⁻⁴	
Есть Al, Fe		

III

Вода из третичных лав в Ардеш

Анализ Барраля (1929)

Подкласс углекислых вод

O–C–Ca–(Na)

Плотный остаток: $4,9 \cdot 10^{-2}$ (при 180 °C)

Элементы:

O ⁷	$2,4 \cdot 10^{-1}$	Mg	$3,5 \cdot 10^{-3}$	Cl	$5,2 \cdot 10^{-4}$
C	$7,8 \cdot 10^{-2}$	Si	$3,3 \cdot 10^{-3}$	Mn	$2,6 \cdot 10^{-4}$
Ca	$9,4 \cdot 10^{-3}$	Fe	$2,8 \cdot 10^{-3}$	K	$2,2 \cdot 10^{-4}$
Na	$4,8 \cdot 10^{-3}$	H	$1,1 \cdot 10^{-4}$	S	$1,8 \cdot 10^{-4}$

¹ С глубин 8,1–90 м.

² Из CO_3^{2-} ($1,0 \cdot 10^{-2}\%$), SO_4^{2-} ($1,9\text{--}10^{-3}\%$).

³ Из CO_3^{2-} .

⁴ Из SO_4^{2-} .

⁵ Из SO_4^{2-} (до $5,6 \cdot 10^{-4}\%$), SiO_2 (до $3,1 \cdot 10^{-4}\%$).

⁶ SO_4^{2-} .

⁷ Из CO_2 – $2,4 \cdot 10^{-1}$, CO_3^{2-} и HCO_3^{-} – $6,5 \cdot 10^{-2}\%$, SO_4^{2-} – $5,4 \cdot 10^{-4}$, SiO_2 – $7,1 \cdot 10^{-3}\%$.

Едва ли может быть сомнение, что более тщательное изучение сильно уточнит и изменит наши знания в этой области.

698. Особое подцарство представляют *восходящие подземные воды* – минеральные источники, сопочные воды, вулканические, гейзерные, поднимающиеся снизу под влиянием газового (и гравитационного) давления.

Они должны быть выделены в особое подцарство, потому что по крайней мере часть их воды и ее компонентов независима от вод метеорных и древних морских вод и идет снизу из глубоких слоев стратисферы и метаморфической оболочки.

Очень возможно, что даже большая часть их воды и компонентов имеет такое происхождение и что это явление более обычно, чем мы думаем.

Вода и ее компоненты связаны с подземными атмосферами и не менее того с магматическими очагами (§ 297 сл.); она частью образуется сгущением поднимающихся снизу водяных паров.

Она подымается снизу благодаря газовому давлению, создаваемому химическими реакциями, и давлению гравитационному, вызываемому процессами тектонического, орогенического характера (§ 551, 686).

Можно различить здесь по крайней мере следующие семейства:

1. Минеральные источники (акротермы). 2. Вулканические воды, т.е. воды, связанные с вулканическими извержениями. 3. Гейзерные воды. 4. Сопочные воды. 5. Пегматитовые воды.

Эти последние, которые в основном проявлении являются газообразными формами природных вод, ввиду их малой изученности могут быть здесь только отмечены.

699. Минеральные источники наиболее изучены и наиболее разнообразны. Они иногда смешиваются с естественными выходами пластовых вод и вод, собирающихся в массивных и в кристаллически-слоистых породах, неизвестных в чистом виде (ср. § 692).

Они идут по трещинам, подымаются и сгущаются в участках земной коры, тектонически нарушенных. Проявлением химических процессов, шедших в этих водных жилах, являются при их замирании твердые минеральные, конкреционные и метасоматические жилы (I, § 100) и отвечающие им жильные поля.

Минеральные источники никогда не содержат свободного кислорода; он всегда вторичный из тропосферы и связанных с ней вод¹.

Их температура не связана со средней температурой биосферы в местах их выходов (обычно выше). Они изменены (иногда чрезвычайно существенно) глубокими пластовыми водами и верховодкой, которые проникают и пересекают те же трещины, где наблюдают выходы (грифоны) минеральных источников.

Нередко здесь же выходят нефти и газы, ибо по трещинам взломанных участков земной коры, идущих причудливо и неправильно на несколько километров глубины, собираются все легко подвижные жидкие и газообразные тела, создающиеся во время химических процессов, идущих в этом участке земной коры.

В помещенных ниже анализах не всегда можно было отличить воды минеральных источников от вод пластовых и вод свободных водоемов в массивных породах, так как, с одной стороны, эти воды в природе часто смешиваются, с другой – часть минеральных источников получена бурениями, т.е. является по существу напорными водами. Их отнесение к настоящим восходящим водам вызвано одинаковым характером их использования человеком. Наконец, возможно, что часть тектонических смещений земной коры дает выход на поверхность именно напорным водам, а не более глубоким восходящим водам, связанным так или иначе с магматическими очагами.

Поэтому наши знания о химии минеральных источников в настоящее время не могут быть очень отчетливы.

Еще менее точны наши сведения о газовых растворенных их компонентах. В связи с этим выделить *подклассы* возможно сейчас для относительно небольшого числа минеральных источников. Это один из самых вопиющих – и требующих быстрого улучшения – недостатков нашего знания.

Очень мало обращается внимания на точное определение радиоактивности акротерм. Исследуют почти исключительно Ra, Tn, редко Au. А между тем имеет большее значение определение Ra, U, MsTh, AcX, MsThI. Определение Rn не дает понятия о радиоактивности воды, вопреки тому, что думают. Необходима здесь измененная систематическая работа.

Компоненты минеральных источников очень разнообразны, и воды эти по характеру компонентов резко отличны от вод метеорных и поверхностных. Теоретически столь же должны быть велики отличия их компонентов от компонентов вод пластовых. Мы не можем сейчас это точно установить только благодаря недостаточной точности работы при взятии проб воды термальных источников.

Ввиду того, что значительная часть их воды связана с сгущением внутренних паров земной коры, удобно сохранить для этих *пресных* вод то название, которое введено в бальнеологии: *акротермы*, т.е. верхние или поверхностные термальные источники, ибо таково положение и температура пресных минеральных вод по отношению ко всем минеральным водам.

¹ Точное применение и использование этого признака позволяет отделить от минеральных источников другие воды (пластовые и воды подземных водоемов), связанные с биосферой и стратисферой. Химия вод от этого выяснится.

Благодаря этому для акротерм можно с большой уверенностью допускать связь с магматическими очагами, чем для соленых минеральных источников. Для последних можно ждать и других условий образования. Я вернусь к этому вопросу во второй части книги.

700. Нам пока известно около 44 видов акротерм. Можно их распределить на ряды по нахождению в их *преобладающем комплексе* тех или иных элементов, дающих катионы, а именно:

1. Акротермы, содержащие в господствующем комплексе Cl.
2. Акротермы, не содержащие в нем Cl, но содержащие S.
3. Акротермы, не содержащие в нем Cl и S, но содержащие C.
4. Акротермы, не содержащие в нем Cl, S и C.

В пределах подсемейства удобно их располагать по числу компонентов, их характеризующих.

701. Для *первого ряда хлорных акротерм* известны следующие виды:

- | | |
|---|---|
| 1. Na-Cl-(O). Есть полклассы CO ₂ , N ₂ .
Есть переходы в соленые и в № 4. | 8. O-Cl-Na-S-Ca. |
| 2. O-Na-Cl-Si. | 9. O-Na-Cl-C-Si. – Есть подкласс N ₂ ? |
| 3. N-Na-Cl-S. | 10. O-C-Ca-S-Cl. |
| 4. O-C-Na-Cl. Есть подкласс ¹ N ₂ -CO ₂ . | 11. O-C-Na-Ca-Cl. |
| 5. O-Cl-C-Mg. | 12. O-C-Na-Cl-S. |
| 6. Fe-O-C-Cl. – Подкласс N ₂ ? | 13. (O)-Na-Cl-Si-S. |
| 7. O-Ca-Si-Na-Cl. | 14. O-Na-Cl-Si-S-C. |
| | 15. O-C-Na-Ca-Fe-Cl. |

Для *второго ряда серных акротерм* – без хлора, но с серой в преобладающем комплексе – имеем:

- | | |
|--|--|
| 16. O-Fe-S. | 25. O-Ca-Mg-S. |
| 17. O-Na-S. | 26. O-Na-Si-S? |
| 18. O-Ca-S. | 27. O-Na-S-C. |
| 19. O-Zn-S? | 28. O-S-Al-(Mg). – Есть подкласс CO ₂ . |
| 20. O-S-Ca-Fe. | 29. O-Si-Na-C-S. |
| 21. O-Cu-Zn-S. | 30. O-C-Na-Mg-S. |
| 22. O-S-Ca-Na. Есть подкласс N ₂ . | 31. O-Ca-Fe-C-S. |
| 23. O-S-Na-Ca. | 32. O-Na-Ca-S-C. – Подкласс N ₂ . |
| 24. O-C-Ca-S. – Есть подкласс N ₂ . | |

Для *третьего ряда углеродных акротерм* – без Cl и S, но с C в преобладающем комплексе:

- | | |
|--|--|
| 33. O-Fe-C. | 37. O-Ca-Fe-C? |
| 34. O-C-Ca. – Есть подклассы:
1) CO ₂ ,
2) CO ₂ -N ₂ . 3) N ₂ -CO ₂ . 4) N ₂ . | 38. O-C-Mg-Ca. |
| 35. O-Na-C. | 39. O-Fe-Ca-Si-C. |
| 36. O-C-Na-Ca. | 40. O-Ca-Si-C-Mg. – Подкласс CO ₂ -N ₂ . |
| | 41. O-C-Na-Ca-Fe. |
| | 42. O-Mg-C-Na-Ca. |

Для *четвертого ряда* без Cl, S и C в преобладающем комплексе:

- | | |
|----------------|-------------|
| 43. O-B-Mg-Si. | 44. O-Ca-P. |
|----------------|-------------|

¹ Есть разность, более богатая хлором, -O-Na-Cl-C.

702. Химический состав этих вод отвечает реально наблюдаемым данным, в которых мы имеем обычно смеси: везде есть примесь, большая или меньшая, пластовых вод, всегда верховодок, встреченных при движении к земной поверхности. Поэтому приведенные предельные числа изменятся при более точном научном исследовании – при научной критической оценке измерений.

Но как эмпирические данные реального наблюдения они все же сохраняют свое значение, так как в биосферу и на ее поверхность попадают они, а не идеальные, от нее независимые, лежащие в стратисфере и ниже «минеральные источники». Минеральный источник, начинающийся где-нибудь в глубокой стратисфере, закономерно меняется по мере своего движения вверх, к биосфере. И нельзя сказать, где кончается его созидание.

Обычно учитывают примесь верховодок, как резко меняющих те его свойства, которые интересуют наблюдателя *с точки зрения использования акротермы*. С точки зрения геохимического явления примесь «вадозных» грунтовых вод есть неизбежное явление выхода минеральных вод на поверхность биосферы. Без них минеральные воды в биосферу попасть не могут – если человек не изменит ход естественного процесса.

Поэтому приведенные числа имеют сами по себе реальное значение: они дают понятие о воде минеральных источников, достигших биосферы.

Их основной недостаток другой – о чем я уже говорил раньше (§ 699).

В ряде случаев в эти таблицы включены пластовые воды, а не восходящие воды минеральных источников. Отделить минеральные источники от пластовых вод, получивших – естественно или искусственно – выход в биосферу благодаря своему гидростатическому давлению, мы пока не можем. Это задача ближайшего будущего.

Общим недостатком этих анализов, что многократно указывалось, является малая изученность растворенных газов, редко позволяющая определять подклассы. Это явление общее не только для акротерм, но и для всех минеральных источников.

Точно так же общим недостатком является малая качественная и количественная изученность органических веществ. Изучение жильных месторождений указывает на чрезвычайное распространение в них органических веществ, мало сказывающееся в анализах вод минеральных источников.

Я даю здесь числа состава воды для тех из акротерм, для которых есть достаточные данные. Привожу их по подсемействам. Начинаю с тех, для которых Cl характерен, – с *хлорных акротерм*.

703. Числа для этих вод следующие (вес.%):

Cl–Na (–O) ¹		O–Ca–Si–Na–Cl	O–Cl–Na–S ²		
<i>Плотный остаток:</i>					
5,4 · 10 ⁻² –1,2 · 10 ⁻¹		2,2 · 10 ⁻²	8,3 · 10 ⁻² –2,3 · 10 ⁻²		
<i>Элементы:</i>					
Cl	2,5 · 10 ⁻² –5,1 · 10 ⁻³		O ³	3,0 · 10 ⁻² –1,1 · 10 ⁻³	
Na	2,5 · 10 ⁻² –4,9 · 10 ⁻³		Cl	2,4 · 10 ⁻² –1,3 · 10 ⁻³	
O ⁴	2,5 · 10 ⁻² –1,2 · 10 ⁻³		Na	1,7 · 10 ⁻² –1,0 · 10 ⁻³	
			S	2,1 · 10 ⁻² –2,1 · 10 ⁻³	
K	8,6 · 10 ⁻³ –2,1 · 10 ⁻⁵	O ⁵	4,5 · 10 ⁻³		
Ca	4,0 · 10 ⁻³ –2,1 · 10 ⁻⁵	Ca	4,3 · 10 ⁻³	Si	7,6 · 10 ⁻³ –1,3 · 10 ⁻⁴

Si ⁷	3,9 · 10 ⁻³ –3,0 · 10 ⁻⁴	Si	3,1 · 10 ⁻³	Ca	4,9 · 10 ⁻³ –2,1 · 10 ⁻⁴
C ⁸	3,6 · 10 ⁻³ –3,0 · 10 ⁻⁴	Na	3,2 · 10 ⁻³	Mg	4,0 · 10 ⁻³ –3,0 · 10 ⁻⁵
S ⁶	3,3 · 10 ⁻³ –2,5 · 10 ⁻⁴	Cl	2,0 · 10 ⁻³	K	4,0 · 10 ⁻³ –1,1 · 10 ⁻⁵
Mg	1,3 · 10 ⁻³ –2,0 · 10 ⁻⁵			C ⁹	2,2 · 10 ⁻³ –3,1 · 10 ⁻⁵
N ¹⁰	1,2 · 10 ⁻³ –9,0 · 10 ⁻⁶				
B	9,6 · 10 ⁻⁴	S	2,0 · 10 ⁻⁴	B	5,1 · 10 ⁻⁴
H	5,8 · 10 ⁻⁴ –2,6 · 10 ⁻⁴	K	1,2 · 10 ⁻⁴	Br	3,1 · 10 ⁻⁴
Fe	3,1 · 10 ⁻⁴ –1,7 · 10 ⁻⁵			Al	2,7 · 10 ⁻⁴ –1,5 · 10 ⁻⁶
Al	2,7 · 10 ⁻⁴ –2,2 · 10 ⁻⁵			H ¹¹	1,8 · 10 ⁻⁴ –2,7 · 10 ⁻⁵
As	1,2 · 10 ⁻⁴			N ¹²	1,6 · 10 ⁻⁴ –8,9 · 10 ⁻⁵
				As	1,2 · 10 ⁻⁴
Li	8,6 · 10 ⁻⁵ –2,5 · 10 ⁻⁵	Mg	5,0 · 10 ⁻⁵		
Br	5,2 · 10 ⁻⁵ –8,7 · 10 ⁻⁶	Fe	3,0 · 10 ⁻⁵	Fe	9,3 · 10 ⁻⁵ –1,9 · 10 ⁻⁵
J	2,4 · 10 ⁻⁵ –2,0 · 10 ⁻⁵	Al	3,0 · 10 ⁻⁵	Li	1,2 · 10 ⁻⁵ –1,0 · 10 ⁻⁵
P	3,0 · 10 ⁻⁵	P	2,3 · 10 ⁻⁵		
Sr	2,0 · 10 ⁻⁵			J	9,6 · 10 ⁻⁶ –9,6 · 10 ⁻⁶
Есть Cs, Rb, Ba, Sb, Sn, Pb				Есть Mn, Pb, Bi, Sb, Cu, Co?	
Ag, Cu, Bi, Co, Zn, Mo				P, Ni? Sn, Ti, Ge, Ga,	
Ti, V, Be, Ge, Ga, W, Pt?				Ag, Mo, W.	
.....				
Есть He (Maizière 5,8% газа)				Свободный H ₂ S	
				4 · 10 ⁻² –4,4 · 10 ⁻⁵ см ³	

¹ Есть *углекисло-азотные*: CO₂ – N₂:
CO₂ 4,2 · 10⁻³ % N₂ 1,2 · 10⁻³ O₂ 4,1 · 10⁻⁴

² Есть *два разных вида* в зависимости от характера *серы* – бедные кислородом воды, заключающие ионы серы (HS¹⁻, S₂O₃²⁻, SO₄²⁻) и H₂S и богатые свободным кислородом с преобладанием иона SO₄²⁻. Между ними есть переходы; такие воды здесь не отделены. Они дают все переходы, по-видимому изменяясь в стратиффере. На глубинах два типа разделены и может быть SO₄²⁻ всегда вторичны?

Есть *углекисло-азотный подкласс* – CO₂ – N₂:
CO₂ 6,3 · 10⁻³ % N₂ 2,0 · 10⁻³ O₂ 4,1 · 10⁻⁴

³ Ионы SO₄²⁻ (до 1,5 · 10⁻²%), CO₃²⁻ (до 9,5 · 10⁻⁴), S₂O₃²⁻ (до 6,2 · 10⁻⁴), CO₂ (до 1,5 · 10⁻³), HCO₃¹⁻ (до 1,5 · 10⁻³), SiO₂ (до 6,7 · 10⁻³ %).

⁴ Ионы CO₃²⁻ или HCO₃¹⁻ (до 1,7 · 10⁻²), SO₄²⁻ (до 9,8 · 10⁻³ %), NO₃¹⁻ (до 4,0 · 10⁻⁵ %), мицеллы SiO₂ (до 8,4 · 10⁻³ %), CO₂ (до 4,2⁻³), PO₄³⁻ (до 9,1 · 10⁻⁵ %).

⁵ Ионы SO₄²⁻ (до 6,1 · 10⁻⁴ %), PO₄³⁻ (до 2,7 · 10⁻⁵ %). Не приняты во внимание органические вещества – 9,1 · 10⁻⁴ %. Вероятно, кислород перейдет в следующую декаду – 10⁻² %.

⁶ Ионы SO₄²⁻, S₂O₃²⁻, S²⁻ (Na₂S до 2,3 · 10⁻³ %, CaS до 2,2 · 10⁻³ %).

⁷ Из мицелл SiO₂.

⁸ Ионы CO₃²⁻ и HCO₃¹⁻. Растворенная CO₂ не принята во внимание – увеличит коэффициент и передвинет С в этой декаде.

⁹ Ионы CO₃²⁻–HCO₃¹⁻. Растворенная CO₂.

¹⁰ Вероятно, всегда есть растворенный N₂. Всегда порядок 10⁻³%?

¹¹ Из HCO₃¹⁻, NH₄¹⁺.

¹² Не принят во внимание растворенный N₂. По-видимому, очень часто или есть всегда. Азот перейдет в декаду 10⁻³ %. Из NH₄¹⁺ (до 2,0 · 10⁻⁴).

704. К минеральным водам O–Na–Cl–S, т.е. к *пиренейскому типу* (§ 705), близки воды – богатые кальцием: O–Cl–Na–S–Ca и богатые кремнием: O–Na–Si–Cl–S.

Следующие числа дают о них понятие (вес. %):

O–Cl–Na–S–Ca¹

O–Na–Si–Cl–S.

¹ Есть разности более бедные и богатые кальцием.

Плотный остаток:

	$5,8 \cdot 10^{-2} - 3,6 \cdot 10^{-2}$		$2,7 \cdot 10^{-2} - 1,2 \cdot 10^{-3}$
		Элементы:	
O ²	$1,8 \cdot 10^{-2} - 8,1 \cdot 10^{-3}$	O ⁶	$1,2 \cdot 10^{-2} - 5,6 \cdot 10^{-3}$
Cl	$1,4 \cdot 10^{-2} - 2,9 \cdot 10^{-3}$	Na	$8,5 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3}$
Na	$1,0 \cdot 10^{-2} - 6,4 \cdot 10^{-3}$	Si	$4,6 \cdot 10^{-3} - 2,5 \cdot 10^{-3}$
S ³	$8,0 \cdot 10^{-3} - 2,7 \cdot 10^{-3}$	Cl	$5,9 \cdot 10^{-3} - 1,9 \cdot 10^{-3}$
Ca	$7,2 \cdot 10^{-3} - 5,0 \cdot 10^{-3}$	S ⁷	$4,2 \cdot 10^{-3} - 1,5 \cdot 10^{-3}$
Mg	$3,0 \cdot 10^{-3} - 6,6 \cdot 10^{-5}$	Ca	$2,2 \cdot 10^{-3} - 2,9 \cdot 10^{-4}$
K	$2,1 \cdot 10^{-3} - 1,0 \cdot 10^{-3}$	C ⁸	$8,1 \cdot 10^{-4} - 2,4 \cdot 10^{-4}$
Si	$1,5 \cdot 10^{-3} - 4,7 \cdot 10^{-4}$	K	$4,4 \cdot 10^{-4} - 2,6 \cdot 10^{-4}$
C ⁴	$1,4 \cdot 10^{-3} - 6,5 \cdot 10^{-4}$	Mg	$7,0 \cdot 10^{-5} - 1,9 \cdot 10^{-5}$
Al	$1,7 \cdot 10^{-4} - 1,2 \cdot 10^{-5}$	Fe	$5,6 \cdot 10^{-5}$ - сл.
H ⁵	$5,3 \cdot 10^{-6} - 1,2 \cdot 10^{-6}$	As	$1,0 \cdot 10^{-5} - 6,9 \cdot 10^{-6}$
Rn	$6,0 \cdot 10^{-16} - 4,8 \cdot 10^{-16}$		
.....		Есть Li, J, Br, P, Mn, Pb, Sn, Ag, Mo,	
Есть Fe (сл.), P, Ti		Ga, Ge, V, Ti, Bi, Ni, W.	
.....		
		Орган. вещ. (барезжин) $3,1 \cdot 10^{-3} - 1,2 \cdot 10^{-3}$	

² Из SO₄²⁻ (до $2,3 \cdot 10^{-2}$ %), CO₂ (до $5,0 \cdot 10^{-3}$ %), SiO₂ (до $3,2 \cdot 10^{-3}$ %). Органические вещества не учтены.

³ Из SO₄²⁻ и H₂S (не раств. до $8,5 \cdot 10^{-5}$ %). HS¹⁻ и органическое вещество не учтено.

⁴ Из CO₂. Органическое вещество не учтено. По-видимому, ионов CO₃ нет?

⁵ Из H₂S. Органическое вещество не учтено.

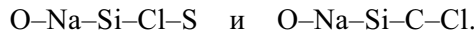
⁶ Из SO₄²⁻ (до $2,8 \cdot 10^{-3}$ %), SiO₃²⁻ (до $5,6 \cdot 10^{-3}$ %), S₂O₃²⁻ (до $1,1 \cdot 10^{-3}$ %), CO₃²⁻ (до $4,0 \cdot 10^{-3}$ %).

⁷ Из SO₄²⁻, S (Na₂SO₄ до $3,9 \cdot 10^{-3}$ %), S₂O₃²⁻.

⁸ Из CO₃²⁻.

705. Среди пресных минеральных источников очень важный и своеобразный тип представляют источники, связанные с гранитными породами, богатые Na и сероводородом явно первичного происхождения. Эти источники были мной при обработке истории сероводорода названы источниками пиренейского типа (1918).

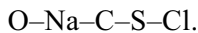
Можно выделить в Пиренеях – среди минеральных источников этого типа – два вида:



Обычно мы не имеем здесь резкого разделения, и есть, несомненно, разности, бедные хлором:



и при увеличении концентрации относительно обедняющиеся кремнием:



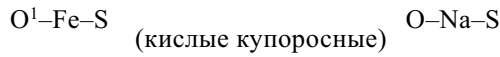
Среди них очень распространены источники подкласса N₂ и N₂ – H₂S, может быть N₂ – CO₂ – H₂S.

Сера в первичном виде встречается в виде ионов HS¹⁻ и H₂S, превращающихся еще в стратиффере частью в ион SO₄²⁻, частью в S₂O₃²⁻.

Источники эти местами несут очень большие количества воды. Так, несколько десятков источников в Graus d'Olette в Пиренеях температуры

27–79,4 °C в сутки выносят 22 000 гл воды. Судя по температуре, вода идет с глубины 1500–2000 м.

706. Обращаясь к *второму ряду*, в господствующем комплексе которого нет хлора, но *есть сера*, – к сернистым акротермам – для следующих видов (§ 701) можно дать числовые данные (вес. %):



Плотный остаток:

$$1,0 \cdot 10^{-1} - 3,7 \cdot 10^{-2}$$

$$9,9 \cdot 10^{-2} - 6,1 \cdot 10^{-3}$$

Элементы:

O ²	$4,9 \cdot 10^{-3} - 4,0 \cdot 10^{-3}$	O ³	$5,5 \cdot 10^{-3} - 6,3 \cdot 10^{-3}$
Fe	$3,2 \cdot 10^{-2} - 1,2 \cdot 10^{-3}$	Na	$2,9 \cdot 10^{-2} - 4,0 \cdot 10^{-3}$
S ⁴	$2,3 \cdot 10^{-2} - 1,2 \cdot 10^{-3}$	Si ⁵	$1,7 \cdot 10^{-2} - 2,3 \cdot 10^{-4}$
		Cl	$1,3 \cdot 10^{-2} - 8,0 \cdot 10^{-4}$
Ca	$9,2 \cdot 10^{-3} - 1,2 \cdot 10^{-4}$	Ca	$9,2 \cdot 10^{-3} - 2,3 \cdot 10^{-4}$
Al	$5,2 \cdot 10^{-3} - 1,9 \cdot 10^{-4}$	Si ⁷	$6,1 \cdot 10^{-3} - 3,1 \cdot 10^{-4}$
Na	$5,0 \cdot 10^{-3} - 1,0 \cdot 10^{-4}$	C ⁶	$3,4 \cdot 10^{-3} - 4,1 \cdot 10^{-5}$
Mg	$4,0 \cdot 10^{-3} - 5,1 \cdot 10^{-4}$	K	$3,4 \cdot 10^{-3} - 5,4 \cdot 10^{-5}$
Si ⁸	$3,6 \cdot 10^{-3} - 1,5 \cdot 10^{-3}$	Fe	$1,5 \cdot 10^{-3} - 5,0 \cdot 10^{-7}$
Cu	$2,8 \cdot 10^{-3} - 6,6 \cdot 10^{-5}$		
Cl	$2,6 \cdot 10^{-3} - 4,9 \cdot 10^{-6}$		
K	$6,5 \cdot 10^{-4} - 5,0 \cdot 10^{-5}$		
Na	$5,9 \cdot 10^{-4}$	Mg	$8,7 \cdot 10^{-4} - 6,0 \cdot 10^{-5}$
H ¹⁰	$4,3 \cdot 10^{-4} - 1,7 \cdot 10^{-5}$	N ⁹	$6,1 \cdot 10^{-4} - 6,8 \cdot 10^{-6}$
Mn	$3,6 \cdot 10^{-4} - 1,0 \cdot 10^{-5}$	Al	$5,3 \cdot 10^{-4} - 2,1 \cdot 10^{-5}$
Zn	$2,9 \cdot 10^{-4} - 3,7 \cdot 10^{-5}$	Mg	$4,2 \cdot 10^{-4}$
As ¹³	$2,3 \cdot 10^{-4}$	P ¹¹	$3,9 \cdot 10^{-4} - 1,4 \cdot 10^{-6}$
P ¹¹	$7,4 \cdot 10^{-5}?$	H ¹²	$4,1 \cdot 10^{-4} - 1,6 \cdot 10^{-5}$
Ni	$3,3 \cdot 10^{-5} - 8,4 \cdot 10^{-5}$	Li	$4,3 \cdot 10^{-5}$
Co	$2,3 \cdot 10^{-5} - 6,0 \cdot 10^{-5}$		
Li	$4,6 \cdot 10^{-6} - 2,2 \cdot 10^{-6}$		
		Rb	$8,0 \cdot 10^{-6} - 6,9 \cdot 10^{-6}$
		Br	$4,0 \cdot 10^{-6} - 9,0 \cdot 10^{-7}$
		Ra	$1,5 \cdot 10^{-11} - 2,0 \cdot 10^{-14}$

Есть Cd, F.

Есть Cs, As, F, Mn, Sr, Ti, В.

Органические вещества $2,1 \cdot 10^{-3}$

Органические вещества $8,7 \cdot 10^{-3} - 2,8 \cdot 10^{-4}$

Rn $2,7 \cdot 10^{-14} - 2,3 \cdot 10^{-15}$

¹ По-видимому, есть разность плотных остатков ($1,0 \cdot 10^{-1}\%$), богатая Mg – может быть Fe–Al–Mg–H–O–S в Аджаристане (анализ П. Палей, 1929).

² В ионах SO_4^{2-} (до $4,8 \cdot 10^{-4}\%$) AsO_4^{3-} (до $4,3 \cdot 10^{-4}\%$), PO_4^{3-} ($3,3 \cdot 10^{-5}\%$). Органические вещества ($1,3 \cdot 10^{-4} - 5,4 \cdot 10^{-4}\%$) не приняты во внимание. В мицеллах SiO_2 (до $5,0 \cdot 10^{-3}\%$).

³ В ионах SO_4^{2-} (до $5,2 \cdot 10^{-2}\%$), CO_3^{2-} (до $9,0 \cdot 10^{-3}\%$), PO_4^{3-} (до $8 \cdot 10^{-4}\%$) NO_3^- (до $1 \cdot 10^{-4}\%$), SiO_3^{2-} (до $7,6 \cdot 10^{-3}\%$), мицеллах SiO_2 (до $1,2 \cdot 10^{-2}\%$). Органические вещества (до $1,0 \cdot 10^{-3}\%$) не приняты во внимание.

⁴ Из SO_4^{2-} .

⁵ Из SO_4^{2-} H_2S (до $4,8 \cdot 10^{-3}\%$).

⁶ Из ионов CO_3^{2-} и HCO_3^- . CO_2 органические вещества не учтены.

⁷ Из мицелл SiO_2 , SiO_3^- .

⁸ Из мицелл SiO₂.

⁹ Газообразный азот не принят во внимание. Он повысит, вероятно, положение азота до декады 10⁻³%. Приняты MH₄¹⁺.

¹⁰ Из ионов HAsO₄²⁻, HPO₄²⁻, HSO₄¹⁻. Если P и As может быть не связывают водород, то нахождение H₂SO₄ несомненно указывает нахождение водорода вне молекул воды. Органические вещества не приняты во внимание. Возможно, водород передвинется в декаду 10⁻³%.

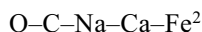
¹¹ Ионы PO₄³⁻.

¹² Ионы HCO₃¹⁻, NH₄¹⁺, H₂S.

¹³ Ионы AsO₄³⁻ и HAsO₄²⁻.

707. В третьем ряду в господствующем комплексе компонентов нет ни хлора, ни серы, но есть *углерод* в виде сложных ионов CO₃²⁻, HCO₃¹⁻. Это углеродистые акротермы.

Сюда относятся следующие воды (вес. %):



Плотный остаток:

9,4 · 10⁻²–1,7 · 10⁻²

6,3 · 10⁻²–2,8 · 10⁻²

Элементы:

O ³	8,8 · 10 ⁻² –9,6 · 10 ⁻³	O ⁴	2,0 · 10 ⁻¹ –1,9 · 10 ⁻²⁰ %
Na	3,2 · 10 ⁻² –1,4 · 10 ⁻³	C ⁵	6,9 · 10 ⁻² –4,1 · 10 ⁻³
C ⁶	2,1 · 10 ⁻² –1,2 · 10 ⁻³		
Cl	1,2 · 10 ⁻² –1,0 · 10 ⁻³		
S ⁷	1,0 · 10 ⁻² –5,5 · 10 ⁻⁴		
N ₂	9,6 · 10 ⁻³ –5,8 · 10 ⁻⁵	Na	8,6 · 10 ⁻³ –3,8 · 10 ⁻⁴
Ca	6,5 · 10 ⁻³ –1,4 · 10 ⁻⁴		
K	3,9 · 10 ⁻³ –2,0 · 10 ⁻⁴	Ca	6,4 · 10 ⁻³ –7,3 · 10 ⁻⁴
Si	5,2 · 10 ⁻³ –5,6 · 10 ⁻⁴	Cl	6,1 · 10 ⁻³ –1,4 · 10 ⁻⁴
Mg	2,7 · 10 ⁻³ –2,4 · 10 ⁻⁵	Fe ⁸	4,9 · 10 ⁻³ –1,9 · 10 ⁻³
Fe ⁹	1,8 · 10 ⁻³ –2,2 · 10 ⁻⁵	K	4,6 · 10 ⁻³ –1,9 · 10 ⁻⁴
Br	1,6 · 10 ⁻⁴ –2,5 · 10 ⁻⁵	Si	4,0 · 10 ⁻³ –1,8 · 10 ⁻³
H	1,4 · 10 ⁻³ –6,0 · 10 ⁻⁵	Mg	1,9 · 10 ⁻³ –1,1 · 10 ⁻³
J	1,6 · 10 ⁻³ –7,1 · 10 ⁻⁵		
Sr	1,6 · 10 ⁻⁴	H ¹⁰	8,4 · 10 ⁻⁴ –3,4 · 10 ⁻⁴
F	1,0 · 10 ⁻⁴	S	5,0 · 10 ⁻⁴ –1,4 · 10 ⁻⁴
B	1,8 · 10 ⁻⁴	Mn	1,9 · 10 ⁻⁴ –8,0 · 10 ⁻⁵
Al	1,8 · 10 ⁻⁴ –5,3 · 10 ⁻⁶ (0)		
Mn	1,6 · 10 ⁻⁴ –3,0 · 10 ⁻⁵		
Li	5,1 · 10 ⁻⁵ –4,0 · 10 ⁻⁵	Sr	9,1 · 10 ⁻⁵
As	1,7 · 10 ⁻⁵ –7,5 · 10 ⁻⁷ (0)	Li	8,0 · 10 ⁻⁵ –2,0 · 10 ⁻⁵
Есть P, NO ₂		Al	5,0 · 10 ⁻⁵

Свободно выделенные газы, объемн. %

I. N ₂ –CO ₂ –H ₂ S		II. CO ₂	
N ₂	83,3	CO ₂	97,0–94,8
CO ₂	15,5	N ₂	4,5–2,3

H ₂ S	1,2 ¹¹	O ₂	7,1 · 10 ⁻¹ –7,0 · 10 ⁻¹
Rn	4,0 · 10 ⁻¹⁴ – 1,5 · 10 ⁻¹⁵ %		

газа, в весе воды

¹ Есть переходы в O–Na–C–Cl и O–Na–C–S.

Есть подклассы: CO₂–N₂

CO ₂	7,1 · 10 ⁻² –3,3 · 10 ⁻³
N ₂	9,6 · 10 ⁻³ –8,6 · 10 ⁻³
O ₂	2,9 · 10 ⁻³ –2,0 · 10 ⁻⁴

N₂–CH₄ – CO₂

N ₂	2,6 · 10 ⁻³
CH ₄	1,1 · 10 ⁻³
CO ₂	8,8 · 10 ⁻³
O ₂	6,3 · 10 ⁻⁴

² Есть подкласс *углекислый*: CO₂ 2,2 · 10⁻³–1,7 · 10⁻³

H₂S 5 · 10⁻⁵

³ Главным образом CO₂ (2,2 · 10⁻¹ %), ионы HCO₃¹⁻ (до 3,7 · 10⁻³), CO₃²⁻ (до 6,9 · 10⁻³), SO₄²⁻ (до 2,5 · 10⁻² %), мицеллы SiO₂ (до 8,5 · 10⁻³), органические вещества (до 1,1 · 10⁻³ %).

⁴ Ионы HCO₃¹⁻ (до 6,3 · 10⁻²), SO₄²⁻ (до 2,5 · 10⁻²), CO₃²⁻ (до 3,6 · 10⁻²), B₄O₇²⁻ (до 6,3 · 10⁻⁴ %), газы CO₂ (до 2,5 · 10⁻²⁰ %), CSO (до 2,4 · 10⁻³), мицеллы SiO₂ (до 8,1 · 10⁻³⁰ %), ионы NO₃¹⁻ (до 2,5 · 10⁻⁴ %). Газы изучены очень слабо. Органическое вещество (до 1,5 · 10⁻³ %).

⁵ CO₂ (до 2,2 · 10⁻¹), ионы HCO₃¹⁻ (до 3,7 · 10⁻² %), CO₃²⁻ (до 6,9 · 10⁻³ %), органическое вещество (до 1,1 · 10⁻³ %).

⁶ Ионы HCO₃¹⁻. Газы CO₂. Органическое вещество.

⁷ Ионы SO₄²⁻, H₂S (до 4,4 · 10⁻³ %).

⁸ Может быть, выделение Fe в основной господствующий комплекс может возбуждать сомнение. Требуется исследование.

⁹ Есть Fe²⁺ и Fe³⁺. Для Алжира (Пуже и Шошак, 1923) Fe²⁺ 8,6 · 10⁻³ %, Fe³⁺ 3,2 · 10⁻⁴ %.

¹⁰ Из HCO₃¹⁻. HS¹⁻ (до 5,0 · 10⁻⁵ %), H₂SiO₃ (до 1,0 · 10⁻² %).

¹¹ Сероводород ввиду его значения и большой изменчивости и растворимости, мне кажется, следует учитывать и в таких количествах для характеристики газа.

708. O–Fe–Ca–C; O–C–Mg–Ca. Сюда относятся разности вод более бедные и более богатые железом, а также магниевые разности, в которых Mg>Ca и кальциевые (Ca>Mg). Может быть, есть железистые разности.

709. O–C–Ca¹ O–C–Na–Ca², вес. %

Плотный остаток:

9,7 · 10⁻²–1,6 · 10⁻³

9,6 · 10⁻²–1,3 · 10⁻³

Элементы:

O ³	2,5 · 10 ⁻¹ –4,5 · 10 ⁻³	O ⁴	2,6 · 10 ⁻¹ –4,5 · 10 ⁻³
C ⁵	8,6 · 10 ⁻² –8,3 · 10 ⁻⁴	C ⁵	9,0 · 10 ⁻² –5,9 · 10 ⁻⁴
Ca	1,8 · 10 ⁻² –9,4 · 10 ⁻⁴	Na	1,7 · 10 ⁻² –4,4 · 10 ⁻⁴
Si ⁶	1,4 · 10 ⁻² –2,8 · 10 ⁻⁴	Ca	1,6 · 10 ⁻² –2,2 · 10 ⁻⁴
Cl	1,3 · 10 ⁻² –6,0 · 10 ⁻⁵	Cl	1,2 · 10 ⁻² –1,0 · 10 ⁻⁴
Na	9,3 · 10 ⁻³ –1,1 · 10 ⁻⁴	K	6,0 · 10 ⁻³ –4,1 · 10 ⁻⁵
K	8,5 · 10 ⁻³ –5,0 · 10 ⁻⁵	Mg	5,4 · 10 ⁻³ –2,0 · 10 ⁻⁵
S ⁷	7,7 · 10 ⁻³ –4,0 · 10 ⁻⁵	S ⁷	5,1 · 10 ⁻³ –4,8 · 10 ⁻⁵
Mg	7,5 · 10 ⁻³ –5,3 · 10 ⁻⁵	Fe	5,0 · 10 ⁻³ –3,8 · 10 ⁻⁵
Fe	5,0 · 10 ⁻³ –2,0 · 10 ⁻⁵	Si ⁸	4,9 · 10 ⁻³ –9,4 · 10 ⁻⁵
N ⁹	4,0 · 10 ⁻³ –1,5 · 10 ⁻³	Al	1,6 · 10 ⁻³ –7,0 · 10 ⁻⁶
H ¹⁰	1,2 · 10 ⁻³ –4,0 · 10 ⁻⁶	N ¹¹	n · 10 ⁻³
Al	1,1 · 10 ⁻³ –2,8 · 10 ⁻⁶	H ¹²	1,3 · 10 ⁻³ –4,0 · 10 ⁻⁷
Mn	2,3 · 10 ⁻³ –3,7 · 10 ⁻⁶		
Br	2,8 · 10 ⁻⁴ ?	Mn	4,9 · 10 ⁻⁴ –2,8 · 10 ⁻⁷ (сл.)

Rb	$2,4 \cdot 10^{-4}$	Li	$1,1 \cdot 10^{-4} - 5,0 \cdot 10^{-7}$
Se	$2,0 \cdot 10^{-4}?$	P	$6,0 \cdot 10^{-4} - 8,0 \cdot 10^{-5}$
Li	$1,1 \cdot 10^{-4} - 1,6 \cdot 10^{-5}$	As	$3,6 \cdot 10^{-5} - 1,1 \cdot 10^{-5}$
Ba	$8,9 \cdot 10^{-5} - 7,7 \cdot 10^{-7}$	Sr	$1,3 \cdot 10^{-5} - 6,9 \cdot 10^{-6}$
P	$8,2 \cdot 10^{-5} - 1,1 \cdot 10^{-6}$		
Sr	$8,3 \cdot 10^{-5} - 3,3 \cdot 10^{-7}$		
Cu	$2,0 \cdot 10^{-5}$		
J	$1,7 \cdot 10^{-6} - 3,4 \cdot 10^{-7}$	Ba	$8,2 \cdot 10^{-6}$
		Br	$2,0 \cdot 10^{-6}?$
		J	$1,0 \cdot 10^{-6}?$
.....			
		Rn	$1,3 \cdot 10^{-11} - 6,2 \cdot 10^{-15}$ (в газах)
.....			

Есть: As, Sn, Cu, Pb

Органических веществ
Гумусовых
Смолистых

B, Rb, Ni, Co, Pb, Sn, Ga, Cu

$1,0 \cdot 10^{-2} - 8,0 \cdot 10^{-4}$
 $1,1 \cdot 10^{-3} - 2,4 \cdot 10^{-5}$
 $5,9 \cdot 10^{-5} - 2,0 \cdot 10^{-5}$

Свободно выделенные газы, объемн. %

	1. CO ₂ -N ₂		1. N ₂ (большие пузыри)
CO ₂	86,9-83,3	N ₂	90,0
N ₂	16,0-12,6	O ₂	8,7
O ₂	$1,7 \cdot 10^{-1} - 5,0 \cdot 10^{-1}$	CO ₂	$7,7 \cdot 10^{-1}$
H ₂ S	сл.		
	2. CO ₂		2. CO ₂
CO ₂	95,1	CO ₂	98,5
N ₂	4,2	N ₂	1,3
O ₂	$6,9 \cdot 10^{-1}$	O ₂	$2,0 \cdot 10^{-1}$
Rn	$4,1 \cdot 10^{-12} - 8,2 \cdot 10^{-16}$ 13		

¹ Есть подклассы:

	1. Углекислые		2. Углекисло-азотные	
CO ₂	$2,7 \cdot 10^{-1} - 1,9 \cdot 10^{-1}$	CO ₂	$9,9 \cdot 10^{-3} - 8,8 \cdot 10^{-3}$	
N ₂	$1,6 \cdot 10^{-3} - 7,7 \cdot 10^{-4}$	N ₂	$1,6 \cdot 10^{-3} - 1,6 \cdot 10^{-3}$	
O ₂	$7,9 \cdot 10^{-5}$	H ₂ S	$4,2 \cdot 10^{-4} - 3,4 \cdot 10^{-2}$	
	3. Азотно-углекислые		4. Азотные	
N ₂	$2,1 \cdot 10^{-3} - 2,2 \cdot 10^{-3}$	N ₂	} $4,0 \cdot 10^{-3}$	
CO ₂	$1,2 \cdot 10^{-3} - 1,4 \cdot 10^{-3}$	O ₂		
O ₂	$7,2 \cdot 10^{-4}$	CO ₂		-0

Углекислые подклассы резко выделяются по количеству кислорода и углерода. По-видимому, от них (две разности богатых Si и может быть Mg) есть переходы в углекислые O-C-Na-S-Ca. Здесь мы имеем (Маринбад)

O	$2,5 \cdot 10^{-1} - 1,8 \cdot 10^{-1}$
C	$8,4 \cdot 10^{-2} - 6,2 \cdot 10^{-2}$
Ca	$6,5 \cdot 10^{-3} - 3,0 \cdot 10^{-3}$
Si	$3,2 \cdot 10^{-3} - 1,7 \cdot 10^{-3}$

все остальные элементы могут давать в преобладающих случаях 10^{-3} , по обычно O переходит в декаду 10^{-4} . В декаде 10^{-3} процентное их количество меньше $3,0 \cdot 10^{-3}?$

² Есть переходы в O–C–Na–Ca–Cl.

³ Из CO_2 (до $2,7 \cdot 10^{-1}$), ионов HCO_3^{1-} (до $7,8 \cdot 10^{-2}$ %), CO_3^{2-} (до $2,5 \cdot 10^{-2}$), SO_4^{2-} (до $4,4 \cdot 10^{-3}$ %), NO_3^{1-} (до $2,6 \cdot 10^{-4}$ %), органические вещества (до $2,9 \cdot 10^{-3}$ %). Мицеллы SiO_2 (до $6,9 \cdot 10^{-3}$ %), H_2SiO_3 (до $8,2 \cdot 10^{-3}$ %).

⁴ CO_2 (до $3,0 \cdot 10^{-1}$ %), ионы HCO_3^{1-} (до $8,2 \cdot 10^{-2}$ %), SO_4^{2-} (до $1,2 \cdot 10^{-2}$ %). Органические вещества (до $1,4 \cdot 10^{-3}$ %). Мицеллы SiO_2 (до $2,7 \cdot 10^{-3}$ %).

⁵ Из CO_2 , CO_3^{2-} , HCO_3^{1-} . Органические вещества не учтены.

⁶ Из SiO_2 .

⁷ Из SO_4^{2-} , HS^{1-} (до $1,4 \cdot 10^{-4}$ %); органические вещества не учтены.

⁸ Из SiO_2 .

⁹ Главным образом NH_4^{1+} (до 10^{-4} %), NO_3^{1-} (до $5,2 \cdot 10^{-5}$ %).

¹⁰ В виде иона HCO_3^{1-} (до $6,6 \cdot 10^{-2}$ %), NH_4^{1+} (до $4,2 \cdot 10^{-4}$ %), органические вещества (до $1,8 \cdot 10^{-3}$ %), H_2S .

¹¹ В виде NH_4^{1+} – $1,6$ – $1,8 \cdot 10^{-6}$ % N (Йеллоустон).

¹² В виде иона HCO_3^{1-} (до $8,2 \cdot 10^{-2}$ %), H_2S (до $1,7 \cdot 10^{-3}$ %), органических веществ (до $1,4 \cdot 10^{-3}$ %), NH_4^{1+} .

¹³ Rn – вес. % в воде.

710. Надо отметить еще довольно редкую воду O–Mg–Na–C–Ca (один из источников в Спа) и O–Ca–Si–C–Mg (Арканзас – горячие).

711. Есть еще ряд источников, в господствующем комплексе которых нет ни Cl, ни S.

712. Состав *вулканических и гейзерных пресных вод* начинает сейчас более точно выясняться.

Более точные данные об этих водах получены в последнее время, благодаря работам Вашингтонской лаборатории им. Карнеги.

Они отвечают, по данным Э.Т. Аллена (1925), горячим источникам пика Лассена в Калифорнии. Воды горячих источников и горячих грязевых сопков (отвечающих им озеровидных водоемов) имеют близкий состав и не могут быть пока разделены; может быть разница будет в дальнейшем уловлена¹.

Благодаря размеру выходов таких источников поглощение ими кислорода воздуха происходит быстрее, чем в обычных источниках, и на поверхности существуют воды этого типа, богатые кислородом (озеровидные водоемы).

Здесь можно различить две разности вод: более соленые, богатые железом, и чисто пресные, бедные или не заключающие железа: Na–Si–O–S, отвечающие гейзерным водам, но, по-видимому, богатые растворенным кислородом (вторичным). Для них, может быть, есть разности, богатые H_2S .

От этих вод есть все переходы в *соленые воды* (до $1,5 \cdot 10^{-1}$ % солевого остатка).

713. Для вод, лишенных железа (или им бедных), можно установить два вида: Na–O–Si–S и Na–O–Si–C–(S) (Йеллоустон).

714. Недавно (1927) к прежним данным прибавились новые, заставляющие выделить новые типы вод, богатых *аммонием*, образовавшихся из горячих водяных паров – *гейзерных* (§ 531). Это воды, существующие, по-видимому, в разных местах земной коры как особое семейство, – должно быть, очень разнообразные. Они изучены Дзем и Алленом для источников в графстве Сонома в Калифорнии.

¹ В анализах сопков не указана CO_3^{2-} , которая отсутствует и в горячих источниках. Но едва ли можно сомневаться в присутствии CO_2 в источниках. Для воды сопков возможно допустить нахождение чисто азотных вод.

Можно здесь выделить пока следующие воды: N–S–O–Mg–C; O–S–C–N и O–S–Mg–N (растворенные газы не были учтены).

715. Формы, которые принимают гейзерные воды, бывают очень различными. Так, например, большая гейзерная область севера Новой Зеландии дает ручьи, реки, озера.

716. *Волосные пресные воды.* Последняя группа *волосных пресных вод* горных пород и минералов – совершенно не изучена.

Можно думать, что она будет наблюдаться в пределах биосферы и стратисферы и едва ли идет глубоко в эту последнюю.

Есть два разных семейства этих вод – *волосные воды*, проникающие, как губку, горные породы и минералы, и воды мельчайших (микроскопических) *замкнутых включений*, изолированных от атмосферы. О первых мы ничего не знаем.

Для вторых есть некоторые разрозненные указания.

Для включений в горном хрустале еще Г. Дэви (1822) нашел почти чистую воду и указал, что связанный с ней газ есть, вероятно, азот. Пресный характер воды в некоторых горных хрусталях был подтвержден Г. Сорби (1858). Вода может содержать K, Na, Cl, свободную HCl, SO₄²⁻.

Совершенно другой тип воды представляют поры, заключающие жидкую углекислоту и одновременно воду, – они встречаются в кварцах, топазах и т.п. Райт (1882) нашел в кварце из пегматитов гнейса в Коннектикуте (Branchville) приблизительно (объемн. %):

H ₂ O	69,02
CO ₂	30,48
N ₂	0,50

Отсюда, учитывая, что объем 30,48 жидкой углекислоты весит 25,30 г (при 0°), при 69,02 г H₂O – очевидно, мы будем иметь при более высокой температуре и меньшем, чем 36 атм., давлении насыщенный CO₂ раствор воды – около 7 · 10⁻¹ % CO₂ по весу. Такие растворы в биосфере неизвестны.

Эти воды действительно требуют химического изучения.

Класс соленых вод

Я знаю число песчинок в пустыне и границы Океана.

Дельфийский оракул. Геродот. 1. 47.

717. *Общие замечания.* Как уже указано (§ 213), различие между классами вод в известных пределах условно. Есть переходы между пресными и солеными и между солеными и рассольными водами.

Эти переходные воды двоякого рода. С одной стороны, они образуются механическим смешением вод пресных с водами солеными. Это смешение происходит нередко и может быть научно изучаемо; очень часто уже сейчас возможно отличать такие вторичные смешанные воды и восстанавливать исходные члены смеси.

Но помимо такого, чисто механического создания промежуточных вод есть и явления в истории пресных вод более глубокого характера, которые ведут к тому же результату – к созданию промежуточных вод. С ходом времени «при геологическом старении» пресная вода в некоторых семействах не-

избежно переходит в соленую. Таково, например, образование соленых озер из пресных озер, не имеющих стока или имеющих недостаточный сток, или образование соленых рек с ходом времени в бессточных областях (§ 753).

В общем, однако, оба эти явления захватывают небольшую массу воды и отнюдь не нарушают резкой границы между классами. Из многочисленных семейств пресных вод лишь немногие дают такие переходы, и среди видов, к ним относящихся, немногие играют большую роль в истории природных вод.

718. Переходы между этими классами наблюдаются для следующих вод:

1) *В царстве поверхностных вод* для родников и источников, для рек, для озер, для болот и их придонных вод.

2) *В царстве подземных вод* такие явления известны в подцарствах почвенных и иловых, пластовых вод, вод подземных водовместилищ.

Относительно немногочисленны они для восходящих вод, для минеральных источников в частности. Это известно для $O-Na-Cl$, $O-Na-C-Cl$, $O-Na-Cl-S$, $O-Fe-S$, $O-Ca-S$, $O-Na-S$, $O-Na-Ca-S-C$, $O-Ca-S-C$, $O-Na-C$, $O-C-Mg-Ca$, $O-C-Ca$, $O-C-Na-Ca$ и др. Из всего числа акротерм – это немного. Но среди них находятся наиболее распространенные.

Однако невозможность на современном научном материале всегда с уверенностью отделить акротермы от пластовых вод позволяет только отметить эту проблему для дальнейшего изучения.

719. В доступных нашему непосредственному изучению формах природных вод – *соленые воды являются господствующими по массе.*

Это видно уже по тому, что к числу их принадлежит вода Всемирного океана – *гидросфера*, – которая одна по весу захватывает более половины всей воды земной коры до глубины в 20–25 км (§ 40). Для правильного понимания необходимо уточнить это понятие. Оно будет обозначать, что более половины всего растворителя основного водного равновесия нашей планеты, водных природных растворов, сосредоточено в гидросфере.

Однако, если мы будем иметь в виду, что в более глубоких частях земной коры начинают все более и более господствовать рассольные растворы, насыщенные газами и растворенными компонентами, – возможно и вероятно, что по весу рассолы подземных и глубинных вод дают массы, значительно превышающие массу Всемирного океана, исчисляемого как раствор.

Как бы то ни было, соленые водные растворы господствуют в биосфере, в царстве поверхностных природных вод. Их значение увеличивается в водах подземных.

Несомненно, значительная часть пластовых вод, вод коррозионных, вод подземных водоемов, минеральных источников принадлежит к водам соленым.

Для нас ясно, что пластовые воды и коррозионные воды по мере углубления подземного водоема переходят в воды *рассольные*. Это менее ясно для минеральных источников; возможно, что глубокие минеральные источники не доходят до биосферы благодаря уменьшению давления газов в связи с меньшим их растворением в богатых компонентами, более концентрированных растворах.

В волосных водах глубинных массивных пород и в микроскопических жидких их включениях (где существование рассольных растворов доказано

Сорби – § 873) большая роль рассольных растворов является пока только гипотезой.

Но здесь мы входим в столь мало изученную область явлений, что в настоящее время правильно будет только отметить намечающееся явление и не вводить его в дальнейшее изложение, если считать нужным не выходить за границы точного эмпирического знания. Исследование этих явлений – дело будущего. Оно, мне кажется, несомненно внесет в нашу современную картину истории природных вод существенные изменения.

720. Основные черты истории *соленых вод* в пределах биосферы не могут при этом, однако, претерпеть сколько-нибудь существенного изменения.

Основной чертой является резкое преобладание одного раствора – Cl-Na , *океанической (морской) воды*. Как уже указывалось (§ 78 и сл.), в этом проявляется основная *диссимметрия* в строении поверхности нашей планеты.

Для Океана мы имеем сейчас следующее (рис. 12) равновесие (ср. § 734).

Океан постоянно получает пресные воды – метеорные и речные (§ 752), он теряет воду в виде пресных паров, почти чистой H_2O .

Так как нет никакого истока воды из Океана, ибо переход его соленой воды в окружающие берега и в дно Океана не может иметь серьезного значения, – то Океан должен находиться в положении бессточного озера, и если нет какого-нибудь противоположного процесса, то с ходом геологического времени должен был бы становиться все солонее и солонее и в конце концов должен был бы превратиться в рассол. Мы этого, однако, не видим.

Равновесие, которым характеризуется солевой состав Океана, однако, гораздо более сложное, и, по-видимому, химический состав Океана почти не меняется или даже не меняется с ходом геологического времени. Вернее, он колеблется (должно быть закономерно?) около некоторого среднего. Океан, по-видимому, геологически является формой подвижного статического равновесия.

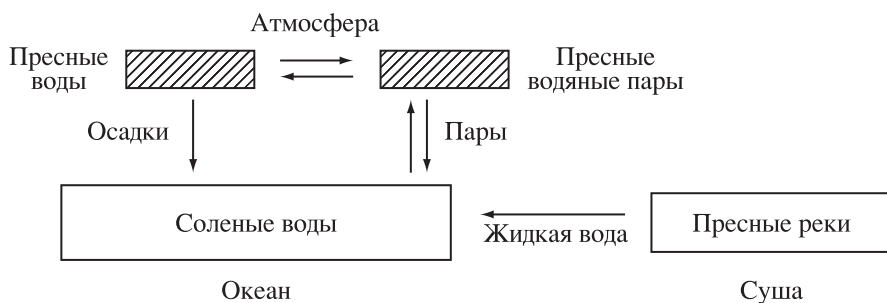


Рис. 12. Равновесие вод поверхности нашей планеты

721. Это представление не является общепринятым, но мне кажется, что оно наиболее отвечает эмпирическим фактам. Я отмечу здесь несколько эмпирических положений, которые его точнее определяют.

1. В течение недолгого, правда, времени, но все же отвечающего четырем по крайней мере поколениями ученых, состав морской воды остается пос-

тоянным. Мы не видим ни одного указания на существование химического процесса, который бы вызывал какое-нибудь вероятное или возможное изменение этого постоянства, хотя бы для одного какого-нибудь химического элемента.

2. Изучая геохимическую историю растворенных в воде Океана химических элементов, мы всюду наблюдаем замкнутый круговой процесс: это ясно видно для Si, Ca, Fe, Mn, Cu, S, N и т.п. Циклический характер геохимической истории химических компонентов морской воды заставляет думать, что то же самое явление будет наблюдаться для всех элементов солевого состава.

3. Все попытки охватить историю химических элементов солевого остатка океанической воды в геологическом времени указывают на сохранение неизменными ее основных современных черт даже, насколько можно судить, в ее количественном проявлении.

4. Загадка морского солевого состава может быть выяснена только при условии решения проблемы о создании диссимметрии строения верхних геосфер земной коры. До сих пор ни одна космогоническая теория не дает для этого никаких серьезных указаний. По-видимому, характер Океана и его диссимметрия оставались неизменными с археозоя.

5. Исходя из пополнения *океанических* участков гидросферы речной и метеорной водами почти исключительно, – а *морских* участков сверх того водами пластовыми и восходящими, – принимая во внимание химическое воздействие жизни, с одной стороны, и испарение и унос ветрами солевого состава океана и непрерывно идущее образование из морских илов осадочных пород – с другой, можно построить и сейчас морскую воду как непрерывно действующее подвижное статическое равновесие, в котором принос вещества и его унос качественно и количественно уравниваются.

722. Основная схема морской воды, вод метеорных и вод суши может быть представлена в следующем виде (рис. 13).



Рис. 13. Схема равновесия морской воды, вод метеорных и вод суши

Ввиду всех этих соображений является наиболее правильным принять особый характер морской воды и ее особое положение на нашей планете, как эмпирический факт первостепенного значения.

Таким же эмпирическим обобщением является химический состав морской воды. Ясно, точно и правильно выразил его Биджелу: «И все же морская вода является несомненно наиболее однородным по составу из всех обычных для планеты веществ» (Н. Bigelow, 1929).

723. Обращаясь к обзору наших знаний о химии соленых вод, можно здесь различить все три царства вод, причем некоторые черты химической структуры новы для соленых вод по сравнению с водами пресными.

В царстве соленых поверхностных вод можно выделить два подцарства: 1) небольшое – вод метеорных и 2) огромное – вод наземных. К первому относятся соленые туманы – в общем редкое явление. Подцарство атмосферных вод в классе соленых вод почти сходит на нет.

Вся гидросфера представляет одно семейство, но можно различить в ней несколько разных видов.

Для *соленых наземных вод суши* могут быть выделены семейства: 1) временные поверхностные воды, связанные с водами метеорными, 2) лужи на льду, 3) стоячие воды, 4) поверхностные коллоидальные воды, 5) соленые реки, 6) культурные ирригационные воды, 7) коллоидальные подвижные воды, 8) соленые озера, 9) подземные соленые озера, 10) азотнокислые воды, 11) соленые болота, 12) органогенные воды, 13) биохимические дренажные воды, 14) воды рудничного выветривания, 15) культурные воды, 16) донные воды озер, 17) культурные бескислородные, бедные коллоидами воды, 18) культурные бескислородные воды, богатые коллоидами.

Среди всех этих вод главное значение и распространение имеют соленые озера.

В *царстве соленых подземных вод* можно различить подцарства: 1) почвенные и иловые растворы с подпочвенными растворами, 2) пластовые воды биосферы, 3) воды подземных водоемов, 4) пластовые воды стратисферы, 5) восходящие воды, 6) маточные подземные соляные растворы, 7) волосные воды горных пород.

В *подцарстве почвенных, подпочвенных и иловых вод* мы имеем семейства почвенных, подпочвенных и семейства иловых вод; последние распадаются по физико-географическому характеру водоемов и дают два ряда семейств, кислородных и бескислородных. Сюда же относятся воды соленых топей.

В подцарстве *пластовых вод биосферы* различимы два семейства: кислородные верхние и бескислородные нижние пластовые воды.

В *подцарстве пластовых вод стратисферы* различимы сейчас три семейства – пластовые воды, пластовые воды нефтяных месторождений, метаморфизованные воды стратисферы.

В *подцарстве подземных водоемов* пока можно различить два семейства: 1) воды, заполняющие пустоты, и 2) воды, растворяющие соленые массы.

В *подцарстве восходящих вод* можно выделить семейства минеральных источников, вулканических вод, гейзерных вод и гейзерных озер, сопочных вод.

В *подцарстве волосных вод* горных пород и минералов удобно пока выделить три семейства: волосных вод, вод включений в минералах и горных породах и кремнеалюминиевых вод, выделяющих цеолиты.

Для *глубинных вод* можно сейчас делать только предположения. Однако эти воды должны возбуждать сейчас наше внимание, ибо весьма возможно, что в глубинных водах, в нижней части стратисферы и в метаморфической оболочке относительно увеличивается *тяжелая вода*.

Это заставляет нас обратить на них сейчас особое внимание. Метаморфические сланцы являются выделениями из своеобразных водных растворов при высоких температурах, достигающих до критической температуры воды, и при давлениях превышающих сотни атмосфер. Можно выделить в царстве глубинных вод подцарство вод метаморфических, в которых можно отличать *семейства хлоритовых, хлоритоидных и вод черных слюд*. Так как мы имеем здесь дело с косвенными выводами – вод этих мы в руках не имеем, – то, очевидно, все эти заключения не сравнимы по их точности с нашими заключениями, касающимися вод биосферы или вод в нее входящих. Однако воды эти существуют, а продукты их существования можно точно научно изучать.

Наиболее глубокими являются воды, дающие черные слюды. Отличить *рассолы* от соляных вод мы здесь не можем. Возможно, что здесь есть только *рассолы*, а соленых (как и пресных вод) нет.

724. Усиление концентрации воды вносит существенные и важные изменения в режиме растворенных *газов*, т.е. в характере и в распространении подклассов.

Наряду с биохимическими явлениями выступают чисто химические.

Их роль все увеличивается по мере концентрации раствора.

Как общее эмпирическое положение можно, по-видимому, выставить, что растворимость газов уменьшается по мере концентрации. Значение давления, однако, не может быть сейчас учтено с достаточной точностью. Эта область явлений требует сейчас экспериментального и теоретического исследования в пределах тех компонентов, которые господствуют в природных соляных растворах.

Из газов особенное значение имеет, по-видимому, *углекислота*. Для нее во всяком случае мы имеем больше всего данных.

Для соленых вод сохраняются все те же явления, которые связаны с участием жизни в режиме углекислоты в пресных водах (§ 572), но здесь выступает на видное – иногда на первое – место влияние солевых компонентов воды в среде, постоянно приводящей углекислоту из атмосферы, реже из подземных атмосфер более глубоких участков земной коры или создающей ее биохимическим путем.

Надо заметить, что вода, насыщенная или богатая углекислотой, сама по себе растворяет значительно сильнее окружающие ее породы, чем пресная вода, бедная углекислотой. Протекая в областях, богатых кальциевыми соединениями, в областях известняков и гипсов, пресные воды переходят в известковые соленые (т.е. содержащие больше 10^{-1} % плотного остатка) воды, благодаря простому растворению ими окружающих пород. Богатая углекислотой вода сильнее действует не только на известковые, но и на алюмокремневые породы. Таким образом, уже при воздействии углекислоты пресная вода может переходить в класс соленых вод. Вода становится активной и соле-

ной не только потому, что быстро достигается насыщение для карбонатов щелочных земель, но и потому, что поглощенная углекислота дает ион CO_3^{2-} (и HCO_3^{1-}) и с натрием легко получаются содовые компоненты. Вода приобретает свойства кислоты, разлагающей силикаты и алюмосиликаты.

Выпадение карбоната кальция и образование соды должно вызывать непрерывно поглощение CO_2 , но количество ее в растворе как газа едва ли увеличивается.

725. Остается неясным и требует нового исследования вопрос о нахождении свободного *кислорода* в растворе в минеральных источниках.

Может быть, для соленых термальных источников этот вопрос становится конкретнее, чем для пресных, ибо здесь мы имеем несколько указаний на нахождение вод *кислородно-азотных*. Я отмечу воды Рильхингена по анализу, правда старому, авторитетного химика Ф. Зонненшейна. Этот анализ требует проверки и, если подтвердится, может поставить любопытные задачи. Кислород в глубинах может быть связан с распадением молекул воды, например, в связи с магматическими очагами аналогично обогащению кислородом газа подводных вулканических извержений, констатированному Ф. Фукэ во время одного из извержений Санторина.

Надо ждать, что должен проявляться другой гораздо больший по мощности процесс – радиохимический, например, для глубоких, содержащих радий и мезоторий, подземных вод (§§ 819, 868).

Но, прежде всего, надо убедиться, действительно ли есть свободный кислород, идущий снизу, или его нахождение является результатом ошибок опыта.

Исследования последних лет заставляют пересмотреть вопрос. С одной стороны, границы биосферы выясняются точнее – в нее должны войти и стратисфера и нижняя стратосфера (Вернадский, 1934). Жизнь в ее анаэробных формах проникает неожиданно глубоко в нефть и в подземные воды. Открытие А. Малиянц и В. Малышек (1934) в глубоких нефтяных водах около Баку аэробных пурпурных бактерий должно учитываться.

726. Для соленых вод значение ионов все уменьшается и яснее выступает гидратное представление об их химическом составе. Но выразить в этой форме их состав мы с бесспорностью не умеем, почему является наиболее удобным и здесь придерживаться выражения их состава в форме химических элементов. Однако в очень многих случаях можно идти дальше и выделять если не весь гидратный комплекс, то тот солевой комплекс, который является по нашим современным представлениям неразложенным в воде и входящим в состав сложного гидрата.

Я буду указывать те случаи, когда этот комплекс может быть выделен, но никакого изменения это представление не вносит в принятую здесь классификацию. Мы имеем здесь полный переход от вод, где эти комплексы мало заметны или даже незаметны (близкие к концентрации $1 \cdot 10^{-1} \%$), до тех, где они преобладают (близкие к 5%). В этих последних водах количество *кислорода* (и водорода), связанного с компонентами воды, сильно увеличивается, но та часть, которая связана с гидратом (молекулами H_2O), исчезает из нашего рассмотрения, согласно общим принципам классификации.

В связи с малой растворимостью кальциевых солей по сравнению с солями магния и натрия последние два элемента выступают по количеству на

первое место. Производные кислот H_2CO_3 , H_2SO_4 и HCl являются резко преобладающими в солевом остатке.

Коллоидальные воды выступают здесь на видное место, и особенно ярко они выражены в почвенных и в иловых водах. Они все богаты органическими веществами и создаются большей частью биохимическими процессами. Их образование в связи с процессами наземного выветривания вероятно играет большую роль в биосфере и требует настоящего изучения. Нельзя сейчас выявить, преобладают ли в этих, всюду находящихся на земной поверхности, быстро преходящих водах – соленые или пресные воды.

727. Метеорные соленые воды. Обращаясь к обзору поверхностных соленых вод, надо отметить, что метеорные соленые воды играют чрезвычайно малую роль и к тому же они не изучены химически.

Здесь относятся *соленые туманы*, которые, по-видимому, довольно распространены в приморских областях. Они часто наблюдаются в пустынных областях Северной Африки. Это пары и капли воды, заключающие NaCl . Очевидно они относятся к подклассу $\text{N}_2\text{-O}_2\text{-CO}_2$.

728. Соленые воды океанов (гидросферы). Главная масса соленых вод составляет *гидросферу*.

Это подцарство принадлежит к подклассу $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-O}_2$, в верхних частях, и к подклассу $\text{N}_2\text{-O}_2$ – в более глубоких (§ 743).

Океаническая вода – самая важная и распространенная природная вода. Больше половины всей воды земной коры относится сюда.

С химической точки зрения надо различать как среднюю величину состава *гидросферы*, так – более реально – состав собственно *океанов* (более глубоких частей гидросферы – примерно областей глубиной больше 2–4 км) и *морей* более мелких ее областей. Моря, прилегающие и внедряющиеся в сушу, в действительности по своему геологическому строению принадлежат к суше. Под ними надо ждать развития тех же геосфер – стратисферы и т.д., – которые отсутствуют под океанами и которые характеризуют геологическое строение континентов (§ 86).

Конечно, огромная толща морской воды должна давать местные колебания состава, но эти колебания состава не выходят за пределы минерального вида, которому отвечает океаническая или морская вода.

Обычно в вертикальном разрезе наблюдается смена слоев разной солености и разной температуры. Яркий пример представляет море Антарктики: здесь с поверхности до глубины 200 м (иногда 400 м) наблюдается менее соленая и холодная вода (ниже – 1°); на глубине 200 м наблюдается резкое повышение температуры (до $+1,9^\circ$) и соленость 3,46–3,48%. Около 1500 м новый скачок и быстрое охлаждение, достигающее до $-0,6^\circ$ и наблюдаемое на протяжении 400 м.

Различие между составом океанической и морской воды, прежде всего, выражается в резко иной концентрации: частью они разбавляются, главным образом речной водой, частью, наоборот, перевешивает для них испарение. Амплитуда колебаний в морях очень велика для сухого остатка: от $7,2 \cdot 10^{-1} \%$, например, для Балтийского моря (иногда еще меньше – меньше $10^{-3} \%$, т.е. «пресная», например, около Кронштадта на поверхности¹, до рассолов,

¹ На глубинах до $5,0 \cdot 10^{-1} \%$.

например, для некоторых участков Красного моря 6,88%. В то время, как для океанической воды колебания солености наблюдаются в пределах 3,4–3,7%, т.е. отношение равно 1,08 – в морях, даже если мы возьмем приведенные примеры, равно 9,44 – в действительности оно меняется больше, чем в 10 раз.

В общем, однако, состав солевого остатка остается почти неизменным. Это видно, например, из следующего сопоставления состава солевых остатков, приводимого Ф. Кларком (1924) и отвечающего 23 солевым остаткам, взятым на протяжении всех морей. Это частью хорошие единичные анализы, частью средние из многих (так число экспедиции Челленджера – анализы В. Дитмара – 77 анализов, число Макина для Атлантического океана – среднее из 22 образцов и т.д.).

Колебания солевого остатка (проценты по весу сухого) выражаются в таком случае для океанов и морей:

Cl ¹	56,0–54,6	K ⁶	2,1–6,4 · 10 ⁻¹
Na ²	31,2–30,2	CO ₃ ⁷	7,2 · 10 ⁻¹ –1,0 · 10 ⁻²
SO ₄ ³	8,0–7,5	Br ⁸	1,9 · 10 ⁻¹ –1,3 · 10 ⁻¹
Mg ⁴	4,0–3,4	Rb ⁹	3,0 · 10 ⁻² –4,0 · 10 ⁻²
Ca ⁵	1,7–9 · 10 ⁻¹		

¹ Это анализ для Красного моря (мах. К. Наттерера, 1899) и Атлантики около Аргентины (min: ан. Дюклу, 1902) . Если взять следующие величины, получим 55,6 (Красное море, ан. К. Шмидта, 1878) и 55,0 (Атлантический океан около Дьеппа по ан. Т. Шлезинга, 1906 и Балтийское море по ан. К. Шмидта, 1878).

² Мах.: Суэцкий канал (ан. К. Шмидта, 1878). Min.: Атлантический океан у Аргентины (ан. Дюклу, 1902) и Малакский ялавин (ан. К. Шмидта). Следующие числа 30,9 – Ледовитый океан (Шмидт, 1878), Индийский океан (его же), 30,3 – Атлантический океан (ан. Макина – Makin, 1898), Красное море (ан. Наттерера, 1900).

³ Мах.: Балтийское море (ан. К. Шмидта, 1878), Северное (Сибирское) Ледовитое море (ан. Форсберга, 1883), Атлантический океан (Бразилия. Ан. Дюклу, 1902). Min.: Мексиканский залив (ан. Г. Стейгера, 1910), Черное море (ан. Колотова, 1893). Ближайшие цифры: 7,9 – Атлантический океан (ан. Макина, 1898), Белое море (ан. К. Шмидта, 1878), Средиземное море (ан. Т. Шлезинга, 1906), Малакский пролив: (ан. К. Шмидта, 1878). Ближайшие: мах.: 7,6 – Атлантический океан (ан. А. Вилера, Whiler, 1910), Северный Атлантический океан (ан. К. Шмидта, 1882), Mare Morte в Адриатике [ан. В. Лешиб и Л. Сипёч (Siposz), 1876].

⁴ Мах.: Малакский пролив (ан. К. Шмидта, 1877). Min.: Атлантический океан около Аргентины (ан. Дюклу, 1902). Ближайшие: Мах.: 3,9: Атлантический океан (ан. Л. Макина, 1898), Красное море (ан. К. Шмидта, 1878). Min.: 3,5: Балтийское море (ан. К. Шмидта, 1878).

⁵ Мах.: Балтийское море (ан. К. Шмидта, 1878). Min.: Красное море (ан. К. Шмидта, 1878). Ближайшие: Мах.: 1,4: Атлантический океан (ан. Дюклу, 1902). Черное море (ан. С. Колотова, 1893). Min.: 1,0: Суэцкий канал (ан. К. Шмидта, 1878).

⁶ Мах.: Атлантический океан у Аргентины (ан. Дюклу, 1902) Min.: Суэцкий канал (ан. К. Шмидта, 1878). Ближайшие мах.: 1,2: Черное море (ан. С. Колотова, 1893). Северный (Сибирский) Ледовитый океан (ан. Форсберга, 1883), Ирландское море (ан. Т. Торпа – Thogre и Э. Мартонна, 1871). Min.: 8,5 · 10⁻¹ %: Индийский океан (ан. К. Шмидта, 1877)

⁷ Мах.: Mare Morte в Адриатике (ан. В. Лешиб и И. Сипёч, 1876). Min.: Суэцкий канал (ан. К. Шмидта, 1878). Ближайшие: Мах.: 4,6 · 10⁻¹ %: Черное море (ан. С. Колотова, 1893) Min.: 2,0 · 10⁻². Красное море (ан. К. Шмидта, 1878).

⁸ Мах.: Средние цифры Экспедиции на «Челленджере» (ан. В. Дитмара, 1884); Mare Morte в Адриатике дает 2,6 · 10⁻¹ (ан. В. Лешиб и С. Сипёч, 1876). Это явное изменение 1,9 · 10⁻¹ % дают еще Атлантический океан (ан. Т. Шлезинга, 1906), Ирландское море (Т. Торп и Э. Мартонн, 1871), Средиземное море (ан. Т. Шлезинга, 1906), Min: Балтийское море (ан. К. Шмидта,

1878), Красное море (его же), Малакский пролив (его же), Китайское море (его же), Индийский океан (его же). Ближайшие: Мах. $1,8 \cdot 10^{-1}$. Атлантический океан (ан. К. Макина, 1898), Средиземное море (ан. Т. Шлезинга, 1906), Черное море (ан. С. Колотова, 1893), Красное море (ан. К. Шмидта).

⁹ Мах.: Балтийское море, Белое море, Баренцево море, Красное море, Китайское море. Мин.: Суэцкий канал, Малакский пролив, Индийский океан (ан. К. Шмидта, 1878). Вопрос о рублии требует сейчас пересмотра. По-видимому, порядок чисел значительно меньше, чем находил К. Шмидт, – но нет до сих пор ни одного анализа изученных Шмидтом вод, сделанного современными методами.

Рассматривая эти числа, мы видим чрезвычайно однообразие состава; колебания не превышают одной декады (кроме К и CO_3). Учитывая огромность явления и различие местных условий, можно считать, что состав морской воды колеблется в узких пределах около определенного подвижного статического равновесия и что причина, вызывающая этот состав, так велика, что она едва изменяется местными – геологически очень мощными и различными – явлениями. Сравним, например, резкие химические различия Океана, Балтийского моря с концентрацией почти в пять раз меньшей, Черного, исключительного по своему газовому режиму, и Красного, концентрация которого почти в $1\frac{1}{2}$ раза больше концентрации воды Океана. Мы увидим необычайную близость химического состава всех этих вод.

Это несмотря на то, что многие из морей геологически недавно были водами других классов, подгрупп, семейств. Так, Балтийское море было сплошь занято льдом во время последнего оледенения, было позже пресноводным озером, Черное раньше, но недавно было тоже озером (§ 747) и т.п.

Еще одну важную особенность океанической воды следует подчеркнуть: из изучения кипения и замерзания морской воды можно вычислить степень ее ионизации; из подсчета, сделанного Д. Мерреем и Д. Гиортом (1912), следует, что около 90% солевого остатка разбито на ионы и только 10% не затронуто диссоциацией.

729. Постоянство состава морской воды при теснейшей связи Океана с бесчисленным числом разнообразнейших явлений в биосфере, при преобладающем основном – благодаря диссимметрии земной коры (§ 74 и сл.) – положении Океана в биосфере – заставляет с полным основанием заключать, что состав Океана вызван столь глубокими причинами, что на него не действуют значительным образом самые мощные изменения, существующие в обычном режиме биосферы.

С этим связано и то, что состав этот, по-видимому, неизменен в течение геологического времени: едва ли средний солевой состав заметно менялся за все геологическое время. Можно говорить лишь о колебаниях состава около какой-то средней величины. Эти колебания, поскольку они изучены, представляются незначительными.

Правда, существует ряд геологов, которые придерживаются обратного представления, и еще недавно И. Вальтер (1929) выразил это ярко. Но все эти исследователи оставляют без внимания данные геохимии и минералогии. Приводимые ими данные, мне кажется, едва ли выдерживают научную критику.

730. Поэтому можно говорить о среднем составе морской и океанической воды, как о чем-то в известных пределах постоянном и определенном.

Можно дать средний состав Океана и его солей с некоторой, довольно большой, точностью.

Процентный состав солевого остатка солей океанической воды в первом приближении может быть выражен следующим образом (числа Ф. Кларка, 1924):

NaCl	77,76
MgCl ₂	10,88
MgSO ₄	4,74
CaSO ₄	3,60
K ₂ SO ₄	2,46
CaCO ₃	0,34
MgBr ₂	<u>0,22</u>
	100,00

731. В сущности мы пошли немного глубже в знании химического состава океанической воды в количественном аспекте, чем то представление валового солевого остатка, которое дано в предыдущем параграфе.

А между тем, огромный материал точного эмпирического наблюдения заставляет думать, что средний состав океанической воды является *характерной постоянной планеты*, константой, вероятно являющейся устойчивой в течение геологического времени; около нее – в ту и другую сторону – наблюдаются колебания, по-видимому, никогда не достигающие большой величины.

Состав тропосферы, величина рН океанической воды, средний состав земной коры являются примерами таких постоянных планеты. Проверка этого положения для гидросферы и биосферы является сейчас одной из очередных задач. Она ставится сейчас в программу работ Биогеохимической лаборатории Академии наук СССР.

Для господствующих элементов и некоторых других можно дать числовые величины, как это дано и в таблице А, основанной в конце концов на работе поколений ученых (§ 416). Для других элементов пока нельзя дать чисел, так как мы имеем незначительное число определений, не дающее числового понятия о среднем составе.

Пользуясь последней критической обработкой наших знаний о составе океанической воды, сделанной в Вашингтоне Т. Томпсоном и Р. Робинсоном (Thompson a. Robinson) в 1932 г., и сколько возможно используя более новые данные, я выражу состав океанической воды геохимически – в весовых (I) и в атомных (II) процентах, как это впервые было сделано мною для гидросферы в 1923 г. Надо иметь в виду, что в эти числа включены растворенные газы (при 760 мм). Коэффициенты становятся менее точными по мере уменьшения количества элементов в океанической воде. Таблицы А и Б только первое приближенное выражение реальности.

Таблица А

Элементарный состав океанической воды¹, %
 Весовой (I) и атомный (II)
 Плотный остаток 3,5
 Элементы:

	I		II	
I декада	O	85,92	H	66,31
	H	10,79	O	33,00

II декада	Cl	1,93		
	Na	1,04		
III декада	Mg	$1,27 \cdot 10^{-1}$	Cl	$3,53 \cdot 10^{-1}$
			Na	$2,77 \cdot 10^{-1}$
IV декада	S ²	$9,01 \cdot 10^{-2}$		
	Ca	$4,17 \cdot 10^{-2}$	Mg	$3,48 \cdot 10^{-2}$
	K	$3,82 \cdot 10^{-2}$	S	$1,72 \cdot 10^{-2}$
V декада	Br	$6,6 \cdot 10^{-3}$	Ca	$6,39 \cdot 10^{-3}$
	C	$3,5 \cdot 10^{-3}$	K	$6,02 \cdot 10^{-3}$
	N	$2,0 \cdot 10^{-3}$	C	$1,35 \cdot 10^{-3}$
	Sr	$1,3 \cdot 10^{-3}$		
VI декада	Si ³	$3,0 \cdot 10^{-4}$	N	$8,7 \cdot 10^{-4}$
	Fe	$1,1 \cdot 10^{-4}$	Br	$5,0 \cdot 10^{-4}$

¹ Растворенные газы сказываются в определениях этой точности для углерода и азота.

² В виде SO₄² ... $2,7 \cdot 10^{-1}$.

³ Имеются числа для Al (Томпсон и Робинсон, 1932) и для Rb (Шмидт) – но эти цифры здесь не даются; требуют проверки.

732. При таком состоянии наших знаний о составе океанической воды – не полном знании коэффициентов – полезно определять декады элементов без числовых коэффициентов. Я помещаю здесь приведенную к уровню наших знаний мою таблицу 1934 г. Сколько возможно элементы распределены по распространенности.

Таблица Б

Средний состав воды гидросферы, вес. %

Декада	Элементы	Декады	Элементы
I 10	O, H	VIII 10 ⁻⁶	Li, Th, (?) As
II 10 ⁰	Cl, Na	IX 10 ⁻⁷	Zn, Ag
III 10 ⁻¹	Mg	X 10 ⁻⁸	Kr
IV 10 ⁻²	S, Ca, K	XI 10 ⁻⁹	Au, Xe, Ne, He
V 10 ⁻³	Br, C, N	XIV 10 ⁻¹²	Ra
VI 10 ⁻⁴	Si, Al, B, Fe?	XXII 10 ⁻²⁰	Po?
VII 10 ⁻⁵	F, J, Ar, Cu, P, U?, Rb?, Mn	XXIV 10 ⁻²²	Rn?

В воде Океана находятся несомненно еще Cd, Cr, Cs, Pb, Pt, Se, Sn.

Косвенными данными, главным образом, в морских организмах доказано существование следующих элементов: Be, Bi, Mo, Sb, Sc, Ti, W, Se, Co, Ni.

Для некоторых, наиболее обычных элементов можно дать пределы наблюдавшихся колебаний для тех анализов, которые надо принимать во внимание.

Отдельно приведены данные для воды Океана и морей (табл. В). Для последних я принимаю во внимание и аномальные концентрации прибрежных бассейнов – лиманов, лагун и т.п., которые переходят в рассолы, и случаи разведения морей пресными водами, какие, например, наблюдаются для моря Лаптевых, где под влиянием огромного притока сибирских рек верхние слои сильно опресняются ($8 \cdot 10^{-1}$ по Ю. Чигирину, 1932) по сравнению с глубинными (2,86%) (ср. § 730).

Это «разведение» связано всегда с химическим процессом, так как пресная вода не есть химически чистая вода. Она не только может вызвать изменение соотношений компонентов благодаря разному порядку концентрации их в пресной речной воде и в океанической, но и благодаря идущим при этом химическим реакциям. Так, для Черного моря Л.А. Вериго (1880) показал, что состав воды Черного моря около берегов и в поверхностном слое благодаря притоку речной воды меняется в разное время и в разные годы. Так

отношение $\frac{\text{Cl}}{\text{Ca}}$ и $\frac{\text{Cl}}{\text{S}}$ было здесь

$$\text{в 1868 г.: } \frac{\text{Cl}}{\text{Ca}} = \frac{100}{3,05}, \frac{\text{Cl}}{\text{S}} = \frac{100}{5,9}$$

$$\text{в 1877 г.: } \frac{\text{Cl}}{\text{Ca}} = \frac{100}{2,5}, \frac{\text{Cl}}{\text{S}} = \frac{110}{4,7}$$

При образовании лиманов приток CaCO_3 в речной воде вызывает выпадение S – изменение солевого состава.

733. Очевидно, все эти числа имеют значение предварительных чисел и в дальнейшем будут уточнены, но в общей основе они уже сейчас выявляют главные черты явлений. В таблице В я пытаюсь дать наблюдаемые колебания для океанов (I) и морей (II) отдельно.

Таблица В

		I. Океан	II. Моря ¹
		Плотный остаток (вес. %)	
		3,2–3,7	4,3%–5,8 · 10 ⁻¹
		Элементарный состав плотного остатка ²	
II декада	Cl	2,1–1,8%	Cl 2,2–2,7 · 10 ⁻¹ %
	Na	1,7–9,8 · 10 ⁻¹	Na 1,8–1,48 · 10 ⁻¹
III декада	O ³	2,0 · 10 ⁻¹ –1,1 · 10 ⁻¹	O ⁴ 3,1 · 10 ⁻¹ –2,1 · 10 ⁻²
	Mg	1,47 · 10 ⁻¹ –1,15 · 10 ⁻¹	Mg 2,2 · 10 ⁻¹ –1,6 · 10 ⁻²
	S ⁵	1,0 · 10 ⁻¹ –7,2 · 10 ⁻²	S ⁵ 1,5 · 10 ⁻¹ –1,2 · 10 ⁻²
IV декада	K	7,1 · 10 ⁻² –2,8 · 10 ⁻²	Ca 8,6 · 10 ⁻² –5,9 · 10 ⁻³
	Ca	5,0 · 10 ⁻² –3,8 · 10 ⁻²	K 6,6 · 10 ⁻² –3,3 · 10 ⁻³
			Br ⁶ 5,2 · 10 ⁻² –2,2 · 10 ⁻⁴
V декада	Br	7,1 · 10 ⁻³ –4,2 · 10 ⁻³	C ⁷ 6,6 · 10 ⁻³ –1,6 · 10 ⁻³
	G ⁷	4,8 · 10 ⁻³ –3,2 · 10 ⁻⁴	N ⁹ 2,3 · 10 ⁻³ –2,0 · 10 ⁻³ ?
	N ⁸	2,3 · 10 ⁻³	Rb 1,6 · 10 ⁻³ –2,9 · 10 ⁻⁴ ?
	Rb	1,4 · 10 ⁻³ –1,1 · 10 ⁻⁴	
	Sr	1,37 · 10 ⁻³ –1,3 · 10 ⁻⁴	
VI декада	Si ¹⁰	8,0 · 10 ⁻⁴ –2,2 · 10 ⁻⁶	Si ¹⁰ 9,4 · 10 ⁻⁴ –2,2 · 10 ⁻⁶
	P	5,3 · 10 ⁻⁴ –8,8 · 10 ⁻⁵	P 5,8 · 10 ⁻⁴ –3,1 · 10 ⁻⁵
	B	4,0 · 10 ⁻⁴	H ¹² 3,9 · 10 ⁻⁴ –8,5 · 10 ⁻⁵
	Fe ¹⁴	8,8 · 10 ⁻⁴	J ¹³ 2,4 · 10 ⁻⁴ –2,0 · 10 ⁻⁶
	H ¹¹	2,8 · 10 ⁻⁴ –3,0 · 10 ⁻⁶	Fe ¹⁴ 3,0 · 10 ⁻⁴ –4,0 · 10 ⁻⁷
	Al	2,4 · 10 ⁻⁴ –6,0 · 10 ⁻⁵	

VII декада	F	$2,5 \cdot 10^{-5}$	F ¹⁵	$3,0 \cdot 10^{-5}$
	Cu	$1,4 \cdot 10^{-5}$	Cu	$2,0 \cdot 10^{-5} - 1,0 \cdot 10^{-5}$
	P	$1,3 \cdot 10^{-5} - 0$	P	$2,0 \cdot 10^{-5} - 7,0 \cdot 10^{-7}$
	Li	$1,0 \cdot 10^{-5}$	Ba	$1,9 \cdot 10^{-5}$
			Li	$1,0 \cdot 10^{-5}$
			Zn	$1,0 \cdot 10^{-5} - 2,0 \cdot 10^{-7}$
VIII декада	As ¹⁶	$8,0 \cdot 10^{-6} - 1,0 \cdot 10^{-6}$	As	$2,5 \cdot 10^{-6} - 3,8 \cdot 10^{-8}$
	J ¹⁷	$5,2 \cdot 10^{-6}$		
	Zn	$7,3 \cdot 10^{-6}$		
IX декада	Ag ¹⁸	$n \cdot 10^{-7} - n \cdot 10^{-8}$		
X декада	Au ¹⁹	$4,5 \cdot 10^{-8} - 1,0 \cdot 10^{-8}$		
XIV декада			Ra	$n \cdot 10^{-12} - n \cdot 10^{-14}$
XV декада	Ra	$1,6 \cdot 10^{-13}$		

¹ Есть моря, которые местами представляют собой *рассолы*, например, Красное море.

² Для азота введены данные для газового раствора.

³ Из ионов SO_4^{2-} (max: $2,8 \cdot 10^{-1} \%$) – Атлантический океан CO_3^{2-} (max.: $1,4 \cdot 10^{-2} \%$) CO_2 (max: $5,3 \cdot 10^{-3} \%$), растворенный O_2 (max: $1,2 \cdot 10^{-3} \%$).

⁴ Из ионов SO_4^{2-} (max: $4,5 \cdot 10^{-1} \%$ – Красное море, min.: $5,8 \cdot 10^{-2} \%$ – Балтийское море), CO_2 (max: $7,8 \cdot 10^{-3} \%$ – Красное море, min.: $5,1 \cdot 10^{-4} \%$ – Суэцкий канал), растворенный O_2 (до $1,2 \cdot 10^{-3} \%$).

⁵ Из ионов SO_4^{2-} .

⁶ Пределы требуют проверки.

⁷ Принят во внимание лишь углерод ионов. CO_2 не принята во внимание.

⁸ Связанный азот: азот нитратов – $1,3 \cdot 10^{-5} - 6,1 \cdot 10^{-4} \%$; азот нитритов – $6,6 \cdot 10^{-4} - 2,5 \cdot 10^{-7} \%$; азот аммиака – $1,1 \cdot 10^{-5} - 6,0 \cdot 10^{-6} \%$, в поверхностной воде иногда нет NH_4^+ .

⁹ Связанный азот: N нитратов – $5,8 \cdot 10^{-5} - 5,0 \cdot 10^{-6} \%$, N нитритов – $2,5 \cdot 10^{-6} - 4,0 \cdot 10^{-8}$, N аммиака – $4,2 \cdot 10^{-5} - 2,0 \cdot 10^{-6} \%$.

¹⁰ Большие цифры требуют проверки.

¹¹ Из HCO_3^- . Для $\text{H}^+ = 10^{-8} - 10^{-9} \%$.

¹² Из HCO_3^- . Для $\text{H}^+ = 10^{-7} - 10^{-8} \%$.

¹³ Большие числа для йода требуют проверки.

¹⁴ Пределы для Fe требуют проверки.

¹⁵ Большие числа требуют проверки.

¹⁶ Число Готье, требующее проверки. Новые данные не прибавили для океанов точных определений. Большая часть йода, как указывал и Готье, в организмах, а не в растворе. Числа Reitt (1930) для океана и морей колеблются между $4,3 \cdot 10^{-6} - 7,0 \cdot 10^{-6} \%$.

¹⁷ Йод, может быть, перейдет в VII декаду.

¹⁸ Серебро может быть местами более распространено.

¹⁹ Я беру числа Габера и его сотрудников. Старые измерения дают цифры большие. Может быть, повысится до $10^{-8} \%$, так как распределение золота неоднородное и результаты Габера едва ли можно считать окончательными. Новые данные (1934) вызывают проверку чисел Габера.

Из этой таблицы ясно видны, с одной стороны, недостаточность наших знаний, но с другой стороны – быстрое накопление новых фактов, заставляющее ожидать, что в скором времени мы получим достаточно данных, которые выявят с большей точностью состав воды гидросферы.

Замечу, что в эту таблицу я не поместил числа для *тория*, так как нельзя быть уверенным, отвечают ли они торию (что возможно, так как они близки к его рассеянному состоянию или же к мезоторию).

В Океане и морях наблюдаются числа для

$$\text{Th} = 1,0 \cdot 10^{-4} - 4,8 \cdot 10^{-5}.$$

734. Постоянства состава океанической и морской воды (в последней несомненно меняется лишь концентрация)¹ вызывает неизбежно вопрос о происхождении их солевых остатков.

Наши эмпирические знания здесь не дают решения и геогеническая или космогоническая мысль не нашли научного выражения, доступного проверке.

А между тем, проблема происхождения океанов и связанного с этим состава морской воды была поставлена уже в XVII в., ее, среди других, ставил уже Р. Бойль (§ 409).

Среди эмпирических обобщений и отдельных фактов, с этой проблемой связанных, обращает на себя внимание, отмеченное уже в начале XIX столетия, сходство между солевым составом воды Океана и составом летучих возгонов вулканических извержений.

Отрицать существование *сходства* едва ли можно, но степень сходства была и есть неясна. По-видимому, однако, и порядок обычности элементов здесь выдерживается, за исключением Br и Fe – может быть, углерода и кальция, – один и тот же – уменьшаясь → O–H–Cl–Na–Mg–S–Ca–K–Br–C–N–Si–Fe...

Для фумарол, к сожалению, нет достаточного числа точных количественных подсчетов; по-видимому, для них Br не характерен, а Fe гораздо более обычен. В них занимают металлы – как Cu, Pb, Mn – гораздо более видное место.

Для объяснения этого сходства тогда же были предложены две гипотезы: 1) участие морской воды – непосредственно – во всех вулканических извержениях и 2) происхождение состава морской воды из явлений аналогичных современным фумарольным процессам – из летучих выделений магм – и первые стадии образования твердой коры планеты.

Оба объяснения не выдержали научной критики. Я не буду сейчас здесь этого касаться – мне придется к этому вернуться позже.

Еще два замечания. Вода, т.е. природные растворы в газообразной форме (§ 526), является одним из основных элементов фумарольных и аналогичных современных процессов. Если принять во внимание анализы этих вулканических вод, сходство не увеличится, а уменьшится.

С другой стороны, несомненно, что в современном процессе продукты вулканических извержений являются одним из серьезных источников, откуда океаническая вода черпает некоторые свои соленые части – в частности Na, Cl, SO₄.

Очень возможно, что значение этого процесса больше, чем мы сейчас это признаем.

735. В геологическое время, т.е. с археозоя, Океан получает солевые части из следующих источников:

1. Метеорные осадки – они как раз несут продукты вулканических извержений.

¹ Изменения более глубокие в морях наблюдаются лишь в их небольших прибрежных участках, сообщение которых с открытым морем длительно заторможено.

2. Вулканические извержения – в метеорных осадках и в подводных вулканических извержениях.

3. Ветры – в метеорном остатке.

4. Реки.

5. Выходы пластовых вод суши.

6. Размывание и разъедание суши Океаном и морями.

7. Организмы суши.

736. К сожалению, количественный учет здесь может быть сделан только для метеорных осадков (через них частью и для вулканических извержений?) и для рек. Вулканические приморские извержения и подводные извержения не учтены вовсе¹.

Совершенно не учтено участие пластовых вод в балансе солевого состава Океана. В верхней части, где преобладают воды более пресные, их участие вероятно менее сильно, так как тяжелые соленые воды Океана и морей проникают в области пластовых вод. Но для более глубоких и более, следовательно (§ 809 и сл.), соленых пластовых вод условия взаимовлияния могут быть иные.

Вопрос о размывании и разъедании твердых пород суши приобретает особый интерес с точки зрения происходящего эффекта для островов. Морское разъедание материков редко дает резкое изменение состава воды прилежащих морей. Но, например, лагуны коралловых островов иногда являются прямым продуктом растворения – химического (и биохимического?) – океанической водой (например, Гардинер, 1931). Химически явление не изучено. Может быть эффект (увеличение Са?) не так велик, так как морская вода почти насыщена кальцием (§ 738).

Влияние организмов суши на состав Океана растёт благодаря увеличивающемуся размаху культурной работы человечества. Пока что, однако, в ежегодном – и даже историческом масштабе – это воздействие не велико, может быть, даже ничтожно. Но мы живём в начале этого влияния.

Пока приходится считать, что это вхождение элементов суши шло и идет в таком масштабе, что оно не нарушает установившегося ранее – тем же путем – солевого состава и что оно уравнивается обратным процессом выхода элементов солевого состава на сушу. С этим последним явлением мы постоянно встречаемся, и я коснусь его позже.

737. Как и все вопросы начала земной истории, вопрос о первоначальном составе солевого состава воды Океана пока лежит вне поля современной научной работы.

Пока виден только один научный путь таких исканий. Необходимо, во-первых, количественно точно учесть химический и весовой состав материала: 1) вносимого в океан с суши (в том числе и пластовыми водами (тело А); 2) того, что берется сушей из океана (тело В); 3) того, что выделяется на дне и в атмосферу химическим, биохимическим или геологическим путем из водного раствора океанических и морских вод (тело С).

¹ Значение подводных извержений, например, в области Тихого и Индийского океанов, несомненно заслуживает серьезного внимания и должно быть учитываемо совместно с окружающими их прибрежными вулканами самым мощным явлением этого рода на нашей планете.

Если А равно В+С – качественно и количественно, – придется заключить, что современная миграция элементов во время обмена суши и Океана не влияет на солевой состав Океана, что существует полное статическое равновесие.

К сожалению, при этом упускается огромного, по-видимому, значения фактор, на который недавно (в другом понимании, чем здесь) обратил внимание Тулэ: «тело» Д – принос в Океан вещества благодаря тому, что дно Океана не является неподвижным и устойчивым; оно менее устойчиво, чем суша, благодаря диссимметрии (?). Это сказывается и в значении подводных вулканических явлений и в вертикальных перемещениях, сказывающихся в своеобразном рельефе дна.

Этот фактор пока совсем не поддается учету.

Но факторы А, В и С могут быть учтены значительно точнее, чем это сейчас делается.

Мы далеки еще здесь от точных исчислений. Я остановлюсь вкратце на некоторых частных характерных чертах состава воды Океана.

738. В солевом составе Океана и морей наряду с резко выраженным преобладанием NaCl, о геохимическом значении которого мне придется говорить во второй части книги, имеет большое значение положение атомов *кальция*.

В термодинамических условиях поверхности Океана небольшие количества этого металла в растворе находятся в *состоянии насыщения* или близком к насыщению. Кальций находится в сложном растворе океанической воды в форме более или менее диссоциированных молекул $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, причем обычно в поверхностных водах Океана углекислоты немного не хватает для полного насыщения, но в тропических, теплых водах насыщение, как давно отмечено, достигнуто. Новейшие работы Д. Джонстона и Г. Уильямсона указывают, что практически морская и океаническая вода являются насыщенным раствором $\text{CaH}_2(\text{CO}_3)_2$, кроме холодных их областей и холодных течений.

Отсюда вытекает целый ряд важнейших следствий для геохимии и углерода (в форме CO_2) и кальция.

Насыщение, достигаемое в среднем для Са при $5,0 \cdot 10^{-2} \%$ (весовых) или $7,7 \cdot 10^{-3} \%$ (атомных), при относительно небольших колебаниях (наблюдались для Океана $5,0 \cdot 10^{-2}$ – $3,8 \cdot 10^{-2} \%$ весовых, и для морей, где не всегда есть насыщение $8,6 \cdot 10^{-2}$ – $9,0 \cdot 10^{-3} \%$ весовых) не только ограничивает его дальнейшее включение в состав гидросферы, но обуславливает чрезвычайную легкость его выделения, в котором биогенные миграции играют преобладающую роль.

В главе о геохимии кальция я остановлюсь еще на своеобразном механизме, который с этой точки зрения представляет всемирный Океан – факт первостепенного значения как для истории кальция, так и для жизни, и для всей планеты.

739. В составе океанической воды необходимо отметить отсутствие данных, которые относительно легко могут быть получены и имеют большое значение.

Необходимо в ближайшее время пополнить выяснившиеся пропуски.

Во-первых, необходим полный количественный (спектроскопический, соединенный с химическим) анализ одного и того же образца океанической

воды, для того чтобы выяснить, какие элементы всегда находятся в океанической воде. Все ли? Например, находятся ли редкие земли в особенно Th?

Во-вторых, необходимо точное количественное определение таких элементов, как алюминий, марганец, ванадий, титан, нахождение которых во всякой пробе океанической и морской воды кажется несомненным.

В-третьих, необходимо – как количественное химическое, так равно, где возможно, и радиологическое – определение химических элементов, находящихся в радиоактивном распаде: калия, рубидия (ср. §§ 731, 733), урана, тория, протактиния. Эти данные должны дать возможность точно вычислить термический баланс гидросферы, связанный с распадением атомов и с диссимметрией земной коры.

Наконец, органические растворенные в океанической воде вещества представляют почти terra incognita. Они, однако, имеют исключительное значение, так как вероятно часть их летуча, а во-вторых, возможно, что-некоторые из них являются питательными веществами, даже возможно для высших организмов, как думал это, например, Пюттер – для рыб.

Ни элементарный состав этих тел, ни их количество и их колебания сколько-нибудь точно до сих пор неизвестны¹.

В экономике биосферы, и жизни в частности, эти тела, вероятно, играют важную роль.

740. Для океанов и морей огромное значение имеет *газовый их режим*.

Я уже указывал раньше на ход развития наших знаний в области химии Океана. В этом развитии роста наших знаний выявились некоторые факторы газового режима.

На первое место – в своем значении – выдвигаются кислород и угольная кислота. Особенно разнообразие форм, в которых выявляется углекислота, легкий переход ее из газообразного состояния в жидкость и в разные формы химической связи с водой отражаются чрезвычайно в истории вод морей и океанов (ср. § 744).

Необходимо подчеркнуть значение двух свойств углекислоты: 1) то, что «полусвязанная углекислота», т.е. растворенный ион HCO_3^- , в условиях гидросферы проявляется в парциальном давлении на границе тропосферы как растворенная газообразная CO_2 и 2) что почти вся область Океана целиком лежит в области термодинамического поля жидкой углекислоты и могла бы одновременно содержать и газообразную и жидкую углекислоту. Мне кажется, что это обычно не учитывается, хотя из этого факта могут быть сделаны очень важные выводы.

Только в небольших поверхностных слоях воды при критической температуре жидкой углекислоты, равной $30,98-31,1^\circ$, могут быть области Океана, где жидкой углекислоты быть не может. Максимальная средняя температура поверхностных вод для Атлантического океана равна по Г. Шотту (1926) $26,2^\circ$; для глубин в 400 м и глубже температура колеблется, падая ниже нуля в значительной части Океана и подымаясь выше 10° только для областей, лежащих между $20-30^\circ$ ю.ш. и $20-50^\circ$ с.ш. На глубине 800 м максимальная

¹ Для Средиземного моря среднее для органического вещества (углерода) дается $9,4 \cdot 10^{-3} \%$, – требуется проверка. Едва ли можно его рассматривать как точное количественное число. Методика возбуждает сомнения. Порядок, вероятно, $10^{-2} \%$.

температура достигает $9,8^{\circ}$ (30° с.ш.), а на 1500 – всего $5,9^{\circ}$. Она еще ниже в более глубоких слоях. Так как при этом давление все время повышается, а при 0° и 36 атмосферах давления чистый углекислый газ легко переходит в жидкую уголекислоту – понятно, какие глубокие изменения в ее режиме должны происходить в океанической воде уже на небольшой глубине в тех случаях, когда для отдельных участков или выделение (напр., на дне) CO_2 резко ослабляется, или прекращается связь уголекислоты с проникающей массой воды Океана подводной океанической атмосферой. Такие случаи должны иметь место внутри морских организмов или в иловой воде и в океанических грунтах.

Давлению в 36 атмосфер отвечает глубина около 363 м. Для глубин в 400 м Атлантики только с 50° ю.ш. начинают господствовать воды более теплые, чем 1° (для 50° – $1,7^{\circ}$), для 70° с.ш. имеем температуру, равную $0,7^{\circ}$. Критическое давление для уголекислоты достигает 72,92 атм. Ниже 735 м, отвечающих этому давлению, жидкая уголекислота должна быть более стойкой фазой, чем газообразная (вне прямой связи с подводной атмосферой). Низкая температура этих глубин только этому способствует.

Газообразная фаза может существовать лишь в присутствии жидкой, легко в нее переходит.

Для всей массы воды Океана это верно, однако, постольку, поскольку давление слоев воды отвечает тому давлению, под которым находятся газы, растворенные в морской воде.

Ибо эти газы находятся в теснейшей непосредственной связи с тропосферой, откуда они попадают в Океан, и парциальное давление уголекислоты, растворенной в морской воде, зависит от парциального давления ее в тропосфере и от ее химических взаимодействий с водой, прежде всего, от ее растворимости и от более глубокого ее изменения – перехода в кислотные гидраты.

Мы не можем сейчас точно установить картину того явления, которое должно наблюдаться в тех условиях, когда в однородной смеси одно из взаимодействующих тел (вода) находится под большими давлениями (в пределе больше 1000 атм), а другое – газ в растворе – под малыми, и когда один из компонентов газового раствора – газообразная уголекислота – не существует, не устойчив при больших давлениях. Сейчас нет достаточных данных для суждения, нет и океанографических наблюдений, сделанных при принятии во внимание того, что взятый в целом Океан является полем устойчивости жидкой, а не газообразной уголекислоты – нет и физических экспериментов, приближающихся к условиям нахождения уголекислоты в Океане.

Необходимы, прежде всего, эти наблюдения и опыты.

741. Все же можно отметить, что при больших давлениях должна чрезвычайно усиливаться устойчивость *гидратов уголекислоты* и этим путем понижается парциальное давление уголекислоты газового раствора.

Поэтому, даже если прямое влияние огромного давления глубоких слоев морских и океанических бассейнов не вызывает в газовом растворе в Океане и в морях снижения уголекислоты (к тому же сильно разбавленной другими газами воздуха), газовый режим уголекислоты должен претерпеть резкие изменения на глубинах, где давление достигает критического давления уголекислоты или при котором (и при соответственной температуре) не связанная с тропосферой уголекислота легко сжижается.

К сожалению, для этих глубин (около 350–500 и 730–900 м) систематических наблюдений нет.

Очень возможно, что здесь лежит предел газового раствора CO_2 (§ 744), углекислота как газ существовать не будет – даст ионы.

Изменение газового режима углекислоты в связи с ростом давления морских глубин должно произойти и от другой причины, ибо живые организмы – важные источники углекислоты природных вод – обладают *давлением* и, в общем, температурой тех глубоких морских слоев, в которых они живут. Для них газообразная углекислота неизбежно является неустойчивой, и должно проявляться ее сжижение (или изменение ее химических функций?).

742. Очевидно, жизнь, входя в область устойчивой жидкой углекислоты, должна коренным образом меняться в своем геохимическом проявлении в биосфере. К сожалению, сейчас этот вывод может быть только отмечен. Наблюдений нет.

Любопытно, что 400 м представляют границу распространения микроскопической – планктонной – жизни. Это объясняют обыкновенно тем, что около этой глубины лежит граница проникновения солнечной световой радиации. Но около этой же глубины, где-то – судя по температуре (для Атлантического океана между 70° с.ш. и 70° ю.ш. от $0,4^\circ$ до $14,9^\circ$ в среднем в разных областях) от 360 до 500 м – газовый обмен организмов – выделение газообразной углекислоты при дыхании должен быть нарушен, так как газообразная чистая углекислота, ими выделяемая, здесь устойчива в жидком состоянии и неустойчива в газообразной форме, а между тем температура, отвечающая углекислоте, выделяемой при дыхании, для этих организмов будет равна температуре среды. В то же время синие и фиолетовые излучения солнечного света проникают ниже нижней границы планктона.

Нарушение биогенной миграции CO_2 в Океане с глубиной должно сказываться в многообразных явлениях, на которых я здесь останавливаться не буду. Отмечу только, что оно очень резко должно проявляться в глубинных донных и иловых водах и в самих илах Океана (§ 824).

743. Я уже указывал (§ 741), что вследствие той же причины газообразная углекислота должна исчезать в глубоких морских водах.

С точки зрения классификации вод надо ждать, что где-то на глубине между 360–800 м лежит граница морской и океанической воды подкласса $\text{N}_2\text{--O}_2\text{--CO}_2$. Ниже может существовать только вода подкласса $\text{N}_2\text{--O}_2$.

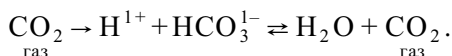
Принадлежность этих вод подкласса $\text{N}_2\text{--O}_2$ к области устойчивости жидкой углекислоты вызывается изменением нашего обычного понимания химического взаимодействия, происходящего при соприкосновении воды и углекислого газа.

Углекислый газ дает соединение с водой, связанное с образованием ионных компонентов HCO_2^{1-} и H^{1+} , которые мы представляем себе как продукты разложения образующейся и распадающейся кислоты H_2CO_3 . Мы не знаем, как должна идти эта реакция с жидкой CO_2 , и пока не можем применять к глубоким областям земной коры, ниже 730–800 м, результаты обычных опытов наблюдений над газообразной углекислотой и водой. Но мы знаем, что эти гидраты становятся все более устойчивыми по мере повышения давления и понижения температуры, т.е. в условиях Океана.

744. Надо учитывать большую сложность явления, чем это обычно допускается, и особенно неполноту как опыта, так и наблюдения и ждать их накопления.

В современной картине истории углекислоты в океанах и морях основной представляется нам углекислота тропосферы, непрерывно приходящая сверху в поверхностные воды Океана и морей в растворяющемся в них воздухе.

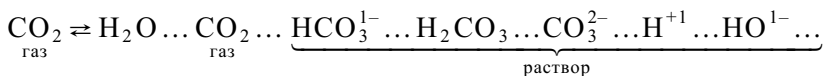
Главная масса углекислоты заключается в изученных верхних частях океанической и морской воды не в виде газового раствора, а в ионах. Углекислота переходит в ионы, но обладает парциальным давлением газообразной углекислоты на границе тропосферы. Это выражается равновесием:



Океан регулирует этим путем постоянное (т.е. определенное небольшое колебание около постоянного среднего) содержание углекислоты тропосферы, основными источниками которого являются жизнь суши – главным образом почвы («дыхание почвы» – биогеохимический процесс), – и выделения углекислоты газовых струй, восходящих вод и вулканических извержений суши и дна Океана.

В Океане важным источником газообразной углекислоты является морская жизнь, гораздо более мощная создательница этого газа, чем жизнь суши, причем в морях и в океанах – при приблизительном равенстве количества живого вещества на гектар – резко преобладает животная жизнь. Два других ее источника – вода рек и углекислота газовых струй, восходящих подземных вод и вулканических извержений – играют второстепенную роль по сравнению с первыми двумя основными источниками углекислоты, тем более, что большая масса углекислоты восходящих подземных вод и вулканических извержений связана с сушей и попадает в Океан через тропосферу¹.

Благодаря своеобразию равновесия



количество углекислоты, которую получает Океан из тропосферы, резко – в сотню раз – превышает ту ее массу, которая могла бы находиться в газовом растворе. При $3 \cdot 10^{-2}\%$ по объему CO_2 в воздухе при обычных температурах должно растворяться $3 \cdot 10^{-1} \text{ см}^3 \text{ CO}_2$ в литре морской воды, т.е. по весу $5,9 \cdot 10^5\%$. В действительности, все количество углекислоты в разных формах достигает порядка $1,3\text{--}3,3 \cdot 10^{-3}\%$ по весу; вместо $3,0 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3$ в литре содержится в нем 45 и больше $\text{см}^3 \text{ CO}_2$.

Ее парциальное давление в морской воде, как показал Крог, вообще меньше парциального давления ее в атмосфере.

Углекислота поглощается морской водой из атмосферы (парциальное давление CO_2 около 0,23 мм), когда рН морской воды больше 8,1–8,2, т.е. когда концентрация ионов H^{1+} достигает $1\text{--}2 \cdot 10^{-4}\%$. При такой концентрации существует равновесие между CO_2 воздуха и CO_2 морской воды. При более

¹ Вероятно, в это представление будет внесена значительная поправка, когда будут учтены вулканические процессы дна Океана.

высокой концентрации ионов морская вода медленно отдает CO_2 в воздух. В открытом Океане рН имеет величину 8,1–8,3.

Поглощение углекислоты из тропосферы и отдача ее в связи с парциальным давлением производится верхним слоем океанической воды по крайней мере до 80–100 м глубины. Массы передвигаемой углекислоты для всей поверхности океана достигают огромной цифры – до $1,7\text{--}2,2 \cdot 10^{11}$ тонн CO_2 в год (Мур, Гердман, Аткинс и др.).

Но процесс может идти глубже, и эти учеты оставляют в стороне биогенную углекислоту и те мощные биохимические изменения, которые связаны с режимом углекислоты в верхней планктонной пленке морей и океанов.

Следующие числа И. Гентера (Hunter, 1870) для поверхности вод Океана, омывающего берега Англии, могут дать понятие о колебаниях состава главных газов в наших широтах, причем приводимые числа отнюдь не отвечают максимальным и минимальным пределам (в вес. %):

CO_2	$3,3 \cdot 10^{-3}$	--	$1,3 \cdot 10^{-3}$	(CO_2 и полусвязанная)
N_2	$1,5 \cdot 10^{-3}$	--	$1,3 \cdot 10^{-3}$	
O_2	$8,6 \cdot 10^{-4}$	--	$6,9 \cdot 10^{-4}$	

Главные массы, передвигаемые Океаном из тропосферы, будут массы углекислоты, ибо весовое содержание углекислоты в воздухе сравнимо с весовым содержанием ее в воде, тогда как азот и кислород в воздухе преобладают. В среднем в воздухе содержится около $3,0 \cdot 10^{-2}\%$ CO_2 , т.е. только в десять раз больше, чем ее содержится в Океане, а кислорода и азота в сотни раз больше. Океан вычерпывал CO_2 из воздуха.

745. Значительно менее сложны изменения в режиме других газов, поступающих из тропосферы, – кислорода, азота и благородных газов.

Для кислорода и азота Океана главным источником является тропосфера, но временами становится ярким влияние другого фактора их образования – планктонной жизни. Как уже указывалось, в планктонной пленке появляются соли воды, «пересыщенные» кислородом или азотом биогенного происхождения, в несколько раз превышающие по весу эти растворенные газы. Это мелкие эмульсии (§ 219).

К сожалению, точные и полные анализы этих вод отсутствуют.

Отсутствуют также анализы вод класса $\text{N}_2\text{--CO}_2$, чрезвычайно обедненных кислородом, которые найдены в последние годы в определенных глубоких слоях Атлантического океана, в которых некоторые (Ле Дануа) думают видеть остатки вод древнего Тэтиса.

Частью под влиянием жизни, а частью из газовых подземных струй наблюдается местами появление еще одного газа – сероводорода, быстро исчезающего, но местами непрерывно, благодаря возобновлению существующего, например, в поверхностных водах у Атлантических берегов Африки (у Конго и т.д.) или же в донных водах Аравийского моря.

Вероятно, более тщательное исследование откроет здесь ряд новых явлений. Можно думать, что согласно любопытным указаниям В.Г. Хлопина (1931) в глубоких слоях океанических вод можно ждать концентрации благородных газов: аргона, ксенона и криптона (см. ниже в главе о геохимии вод).

746. Для океанической и морской воды мы имеем обычные разделения наземных вод – на воду *основную* и на воду *донную*, переходящую в подземную воду – *шловую*, проникающую морские осадки. Основная вода Океана,

в разных частях его отличаясь и в географических областях и в вертикальном разрезе по концентрации и по составу, может очень часто считаться одним телом, так как эти колебания большей частью незначительны. Получаются разновидности соленой воды, а не виды.

Но для *морских вод* очень часто есть несколько основных вод. Во-первых, есть воды другого класса – *морские рассолы*, занимающие иногда большие пространства и заключающие больше 5% по весу солевых компонентов (например, вода Красного моря). Во-вторых, некоторые участки, сообщаемые с морем, не выходя из класса соленых вод, имеют своеобразный состав, благодаря влиянию местных условий и жизни. Таков, например, Сиваш – Гнилое море, само Черное море и т.п. Изменение химического состава здесь настолько значительно, что получаются разные виды и подклассы семейства морских соленых вод.

747. Аналогично водам пресным (§ 625) и в гидросфере надо отделять нижнюю часть воды бассейна – океаническую и морскую – *донные воды*, обычно более бедные и местами лишенные кислорода, обогащенные CO_2 , иногда являющиеся водой подкласса $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-H}_2\text{S}$ или $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-CH}_4$.

Обычно такие сероводородные участки *донной*, главным образом *морской*, воды занимают небольшие пространства в вертикальном разрезе, и исключением является Черное море площадью 411 540 км² (по Шпиндлеру), в котором можно резко отличить нижнюю донную и застойную воду, которая резко преобладает над нормальной слабосоленой морской водой. Причина этого явления неясна, и ее объясняют обычно биохимическими явлениями, бактериальным брожением. Однако это не может считаться доказанным. Как раз в этой области идут тектонические движения, которые на Кавказском берегу проявляются в богатых сероводородом источниках. Такие места, как Аргун, Мацеста или в Дагестане Талгинский источник, являются максимальными известными на Земле концентрациями сероводорода. Нельзя не отметить и того, что геологическая история Черного моря благоприятна такому объяснению (Б.Л. Личков, А.Д. Архангельский). Есть данные думать, что сероводород выделялся здесь в древних третичных морях и озерах, бывших на месте Черного моря. Новые открытия аналогичного процесса на еще больших пространствах Арабского моря (1933) и Персидского залива заставляют осторожно относиться к обычному объяснению.

В Черном море нормальная, «основная» соленая вода находится только в верхних 100–200 м. Глубина Черного моря доходит до 2244 м, объем его равен 10⁵ км³ – и большая часть этого объема – донная вода.

Различие двух вод видно из следующей таблицы, данной Н. Чигириным и П. Данильченко (1929) (вес. %):

<i>Поверхностная вода</i>		<i>Черное море</i>			
		<i>Донная вода</i>			
		А – с глубины 500 м			
		В – » 2000 м			
I		II А		II В	
Соляной остаток 1,8		2,25		2,28	
<i>Элементы</i>					
Cl	1,01%	Cl	1,25%	Cl	1,27%
Na	$6,7 \cdot 10^{-1}$	Na	$8,3 \cdot 10^{-1}$	Na	$8,5 \cdot 10^{-1}$

O ¹	9,1 · 10 ⁻²	O	1,2 · 10 ⁻¹	O	1,1 · 10 ⁻¹
Mg	7,0 · 10 ⁻²	Mg	6,9 · 10 ⁻¹	Mg	3,8 · 10 ⁻²
S	4,4 · 10 ⁻²	S	5,2 · 10 ⁻²	S	5,5 · 10 ⁻²
Ca	2,6 · 10 ⁻²	Ca	3,0 · 10 ⁻²	Ca	3,1 · 10 ⁻²
C ²	2,0 · 10 ⁻³	C	2,3 · 10 ⁻³	C	2,7 · 10 ⁻³
N ³	1,6 · 10 ⁻³	N	1,7 · 10 ⁻³	N	1,7 · 10 ⁻³
H ⁴	1,7 · 10 ⁻⁶	H	5,6 · 10 ⁻⁵	H	9,5 · 10 ⁻⁵

¹ Из SO₄²⁻, HCO₃¹⁻, CO₂ не принята во внимание.

Для O₂ до 9,2 · 10⁻⁴% (I), 0 (II)

» HCO₃¹⁻ до 1,0 · 10⁻¹% (I) 1,2 · 10⁻¹–1,4 · 10⁻¹ (II)

» SO₄²⁻ до 1,3 · 10⁻¹% (I) 1,6 · 10⁻¹–1,5 · 10⁻¹ (II).

² Из HCO₃. Органические вещества и CO₂ не приняты во внимание.

³ Из N₂. Связанный азот не влияет. N нитритов и нитратов на глубинах отсутствуют. Для N₂ связанного: 1,7 · 10⁻⁶ (I), 5,6 · 10⁻⁵ (II A), 9,5 · 10⁻⁵ (II B). Азот аммиака 3,6 · 10⁻⁵ (II A) 1,3 · 10⁻⁴ (II B).

⁴ Из HCO₃, H₂S · H₂S. O (I), 5,7 · 10⁻⁴ (II A), 9,4 · 10⁻⁴% (II B).

748. Другой областью более резкого изменения химического состава океанической и морской воды является поверхность моря и океана и их прибрежные области.

Я указывал уже (§ 171) на своеобразии пленок на поверхности морей и океанов в связи с жидкими веществами, выделяемыми организмами.

На поверхности морей, в области впадения больших масс пресной воды рек, образуются и в Океане временные или длительные участки сильно опресненной воды.

Такова вода морской поверхности после сильных ливней, продолжительных дождей, скоплений тающих льдин. Характер этой воды сказывается в изменении биоценозов и биогенной миграции химических элементов. Вода, этим образом изменяемая, не только связана с химическим различием вод пресных и вод соленых – иногда чрезвычайно меняется мутность воды. В мелких морских прибрежных отложениях – в коралловых рифах – подымается тонкая муть и, держась долго в воде, приводит к изменениям очень серьезного характера, например, к вымиранию кораллов. Такое вымирание произвел, например, 28.VI–1.VII 1928 г. в Паго-Паго дождь (953 мм), взмутивший воду так, что ничего не могло быть видно на глубину до 50 м. В воде находилось взмученных частиц (вулканическая и известковая муть) – 3,7 · 10⁻³%.

В теплых странах благодаря испарению быстрая концентрация воды препятствует обычно длительности многих из таких явлений; иное наблюдается на севере, например, в море Лаптевых и в других морях, омывающих побережье Сибири, с огромными массами вносимой пресной воды великими сибирскими реками: здесь только явления замерзания мешают полному опреснению, но опреснение все же и сейчас очень значительно (§ 717).

Значительная часть поверхностной воды моря Лаптевых имеет всегда температуру ниже 0.

749. Обратное явление – увеличение солености – происходит вследствие концентрации океанической или морской воды в защищенных от обмена их участках. Соленость может доходить, как мы видели, до 6,0 вместо нормальной 3,6–3,8.

Таковы же и те рассолы, которые образуются временами на границе суши и моря в жарких областях Земли, или те воды лагун, коралловых островов, атоллов и рифов в которых идут своеобразные химические и биохимические процессы, мало, к сожалению, химически изученные.

Рассолы известны только для поверхностных областей морей и мелких их участков. На глубинах концентрация не достигает 5%. Здесь наибольшие концентрации доходят до 4% солевого остатка (Красное море, Персидский залив).

750. Отдельно должны быть поставлены воды лиманов – мелких соленых бассейнов (иногда переходящих в пресные солоноватые), которые широко развиты, например, в устьях рек и балок на южном побережье Украины, России и Бессарабии в Черном море. Их образование связано с захватом при тектонических движениях морем речных водоемов. Они иногда свободно соединены с морем, иногда это соединение ослаблено.

Химический характер их воды, хотя источником ее и является в основной части морская вода, отличен от морской воды частью благодаря примеси воды речной и особенно верховодок, частью благодаря тому значению, какое имеют биохимические и химические процессы, идущие в грязи дна, меняющие воду этих мелких бассейнов.

Развитые очень ярко в областях Черного и Азовского морей аналогичные лиманы наблюдаются и в других областях. Требуют изучения воды своеобразных лагун, связанных с устьями больших рек, подтропических и тропических областей.

Кроме лиманов наших областей, мне кажется, вся эта область явлений почти не изучена.

Вот несколько чисел для лиманов (вес. %):

Плотный остаток 4,9–1,5

Элементы

Cl	$2,4-8,9 \cdot 10^{-1}$	Br	$1,0 \cdot 10^{-2}-3,1 \cdot 10^{-3}$
Na	$1,9-5,1 \cdot 10^{-1}$	C ⁴	$7,0 \cdot 10^{-3}-3,0 \cdot 10^{-3}$
Mg	$9,4 \cdot 10^{-1}-3,6 \cdot 10^{-2}$	H ⁵	$3,7 \cdot 10^{-3}-2,7 \cdot 10^{-4}$
O ¹	$3,1 \cdot 10^{-1}-5,7 \cdot 10^{-2}$	Si	$9,4 \cdot 10^{-4}-8,4 \cdot 10^{-4}$
Ca	$1,7 \cdot 10^{-1}-1,6 \cdot 10^{-2}$		
K	$1,6 \cdot 10^{-1}-2,0 \cdot 10^{-2}$		
S ²	$1,1 \cdot 10^{-1}-2,2 \cdot 10^{-2}$	Rn	$5,2 \cdot 10^{-18}-9,0 \cdot 10^{-19}$
N ³	$1,3 \cdot 10^{-2}-2,9 \cdot 10^{-3}$	Есть J	

¹ Из SO₄²⁻ (до 3,3 · 10⁻¹%), HCO₃¹⁻ (до 3,7 · 10⁻²%). Растворенные O₂ и CO₂ и органические вещества не учтены.

² Из SO₄²⁻.

³ Из NH₄ (до 1,7 · 10⁻²%).

⁴ Из HCO₃¹⁻. CO₂ и органические вещества не учтены.

⁵ Из NH₄ и HCO₃¹⁻.

751. Нельзя не обратить внимание на отсутствие химических анализов морских вод, очень обычных и должно быть геологически важных – вод своеобразных морских болот.

Таковы столь распространенные в тропической области воды мангровых зарослей, иногда переходящие в *мангровые болота*. Их состав должен быть очень отличен от обычной морской прибрежной воды. Вероятно, она близка к донной воде. Может быть иногда рассол? Газовый состав особый – без кислорода? Богаты H_2S и CH_4 ? Богаты органическими веществами? Несмотря на большое распространение и на вероятность нахождения их остатков в мощных геологических отложениях (например, допускалось для флиша и мне кажется не без веских оснований), даже характер основных растворенных их газов не ясен. Над ними уже задумывался такой крупный натуралист, наблюдатель и химик, как А. фон Гумбольдт, почти 150 лет назад, не решаясь отнести их всецело к сероводороду.

Мангровые воды часто связаны с водами атоллов и коралловых рифов.

752. Интересно отметить, что химический состав океанической воды – по порядку чередования химических элементов – резко отличен от состава тех речных пресных вод, из которых он в значительной степени составная и которые в него в геологическом времени непрерывно втекают.

Возможны два объяснения: или то, что исходный первичный состав воды Океана был иной и постепенно менялся под влиянием метеорной и речной воды биосферы, или то, что состав смеси речной и метеорной воды в Океане непрерывно – закономерно – меняется благодаря геохимическим и биогеохимическим, в первую очередь, явлениям, как мы сейчас знаем, в океанических и морских водах и ныне происходящим.

Я вернусь во второй части книги к оценке фактов, заставляющих останавливаться на втором представлении.

Здесь же только отмечу химически резко выявляющуюся диссимметрию, (ср. § 74 и сл.), причем замечу, что порядок элементов, отвечающий морской воде, наблюдается для соленых вод суши только для озер, генетически-геологически недавно связанных с морской водой. На суше такие воды не образуются.

Вот эти порядки:

Океаническая вода

Cl – Na – O – Mg – S – K – Ca – Br – C – N – (Rb?) – H – Fe – Si – P.

Метеорная вода

Cl – Na – O – N – Ca – S – C – H – Mg – Ar – P – Fe.

Речная вода

O – Cl – Na – S – Ca – Si – C – Mg – Fe – K – N – Al.

753. *Соленые воды суши.* Обращаясь к соленым наземным водам суши, надо отметить, что здесь господствуют главным образом воды подклассов $CO_2-N_2-O_2$ и N_2-O_2 .

Как уже указано для пресных вод, точное распределение разных видов вод должно быть связано с климатическими и в частности с «ландшафтными» поясами суши, с определенными геохорами. Но при современном нашем знании о химическом составе поверхностных вод мы сделать это не в состоянии (§ 559).

Временно приходится довольствоваться менее точными соображениями.

Наземные соленые воды сосредоточены в определенных участках суши и занимают в ней значительные площади. Области троякого рода приводят к их

образованию: 1) области без стока, основные в биосфере области недостаточного стока, в которых все вещество, несомое реками или большая его часть не уходит в Океан, а остается на суше, 2) области выхода легкорастворимых в воде пород или пород, содержащих сухие соли, и 3) области, бывшие морем в течение исторического времени или геологически недавно.

Это процессы различного характера. В первом случае все наземные воды делаются солеными вследствие того, что прекращается унос реками в море растворенных ими и другими связанными с ними наземными водами солевых частиц. С ходом времени – наземные воды увеличивают свою концентрацию, так как вода никуда не может уходить из данной области, кроме как в виде пресных водных паров в тропосферу.

Области без стока в Океан и области без достаточного стока должны быть, вероятно, отделены друг от друга. В последнем случае, вероятно, мы имеем, главным образом, дело с геологическими молодыми областями, которые еще недавно были покрыты морем; соленые иловые воды, остатки которых вошли в составляющие их породы, не успели уйти и потому, несмотря на достаточный дренаж реками и промывку метеорами, наземные воды сохраняют свой соленый характер. Таковы, например, низины Аргентины, могуче выщелачиваемые Лаплатой, Парагваем и их бассейнами.

Области недостаточного стока захватывают значительные части суши. Исключив покрытые снегом и льдом приполярные области, где пресные воды резко господствуют, по исчислению *де Мартонна* области без стока в Океан, т.е. области господства соленых вод суши, занимают более 30% суши, больше $38 \cdot 10^6$ км².

Области недостаточного стока очень часто связаны с процессами глубокого тектонического значения, например, тот огромный грабен, который проходит через Мертвое и Красное моря и захватывает значительную западную часть Африканского материка и часть Малой Азии. Если даже сейчас в этой области (на юге ее) расположен ряд пресных озер, – в геологическое время, если позволят климатические условия, они превратятся – и частью превратились – во вместилища соленой воды. И здесь же на севере лежат такие *рассолы*, как Мертвое море, и рассолы, образовавшиеся в связи с соленой морской водой, как Красное море.

Часть земной коры, самую богатую соляными озерами, представляет бессточная область Евразии, лежащая в пределах нашей страны. Здесь лежат самые большие соленые озера, как Каспийское и Аральское «моря», и десятки тысяч соленых озер. В своей геологической истории и в характере своей воды они в значительной мере представляют третичную морскую воду – главным образом иловую – измененную шедшими в течение геологического времени процессами денудации и выветривания бессточной области. По своей величине это единственный случай в современной истории поверхности планеты; он обусловлен в конце концов тектоническими процессами.

754. Обычно, но не всегда, области, относительно недавно бывшие морем, совпадают с областями плохого стока. Это и понятно, потому что эти области находятся в стадии отхода от моря, и часто направление и пути стока вырабатываются не сразу. Но и помимо этого – осадочные породы всегда содержат остатки солевого состава иловой (меньше донной) воды и потому на поверхности легко переходят в раствор; они не успели «выщелочиться»

для новых отложений. Среди них – в общем случае – нет массивных и метаморфических пород, в которых воды атмосферных осадков могут остаться пресными.

Поэтому на очень значительных площадях, не прикрытых отложениями суши или ледниковыми, моренными, метаморфическими и гранитными породами, поверхностные воды – колодцы, родники, – связанные с верховодками, будут солеными.

Таковы, например, значительные области южной и юго-восточной России, западной и степной Сибири. Так для б. Омского и б. Акмолинского округов, по С. Кассину (1929), воды юрских пород и третичных песчаников в главной части соленые, палеогеновые – соленые, олигоценые – смешанные (есть и пресные, в особых условиях).

Этот процесс выщелачивания поверхностными и метеорными водами молодых областей суши, связанный с существованием соленых поверхностных вод, имеет огромное значение в истории пресных подземных вод.

Наряду с пресноводными осадочными отложениями суши, роль которых все еще недостаточно учитывается геологами (в последнее время ярко выдвинута Б.Л. Личковым, 1933) и которые сохраняют в иловых осадках пресные воды, этот процесс дает возможность образования подземных *пластовых пресных вод*, вместилищами которых являются уже выщелоченные указанным путем морские осадочные породы.

755. Особую область составляют воды в участках биосферы легко – в течение исторического времени – растворимых горных пород. По площади среди них преобладают жесткие воды в областях развития гипсов или известковых и доломитовых пород. Эти воды обычно причисляются к пресным, жестким водам, они, однако, в действительности и по классификации, здесь принятой, должны быть отнесены к водам соленым, ибо они в обычных условиях биосферы легко и часто превышают концентрацию в $10^{-10}\%$.

Воды областей, еще в историческое время бывших морем, – не занимают очень больших площадей. Таковы, например, воды культурного происхождения – в польдерах и на польдерах Голландии. Отчасти малая площадь таких областей связана с тем, что отход моря совершается в аспекте геологического времени; он идет медленнее, чем выщелачивание биосферы поверхностными водами, главным образом реками и искусственным дренажем.

756. Область развития всех этих вод на поверхности суши непрерывно через метеорные воды получает приток *пресных вод*. Они не только разбавляют соленые растворы суши, но совершенно меняют их распределение, проникая более или менее глубоко в сушу. Поэтому эти поверхностные воды и верховодки не дают сплошного покрова соленых вод – образуется как бы своеобразная мозаика водовместилищ (в том числе и рыхлых, проникнутых водою пород – соленых и пресных). Яркая картина этих колебаний выяснена, например, для пустынь и полупустынь Туркестана Ю. Скворцовым (1927). Она зависит от микрорельефа.

757. Учитывая все эти явления, можно различить следующие местонахождения – *семейства* – наземных соленых вод.

Вероятно, есть временные не долго существующие *лужи* на солонцах и т.п., образующиеся, например, после дождей, принадлежащие к подклассу N_2-O_2 . Но они не изучены и не играют большой роли (ср. § 589).

В подклассе $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-O}_2$ можно различить ряд семейств: 1) поверхностные воды *родников*, переходящие в воды соленые колодезные (они частью связаны с метеорными водами, частью с пластовыми подземными, верховодками); 2) *реки*, от которых есть переходы в пресные реки того же подкласса; 3) *озера* и реже 4) *болота*; 5) *органогенные воды*, 6) *культурные воды*.

Наибольшее значение по массе захваченной воды имеют *соленые озера*.

758. *Соленые родниковые и колодезные воды.* Эти воды широко распространены в областях пустынь и полупустынь, в областях вне стока в море или с ограниченным стоком. В них играют большую роль Ca (отчасти Mg) и Na, а из анионов – Cl, SO_4 , CO_3 . Другие компоненты, например NO_3 , отходят на второй план.

Можно довольно резко разделить поверхностные типы этого ряда на две группы: воды *очень жесткие*, без солевого вкуса – с преобладанием Ca^{2+} , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , и воды соленые в буквальном смысле – богатые Na и обычно Cl. Это житейское деление отвечает определенным условиям их нахождения и образования.

Соленые родниковые воды оказываются в таких местах земной коры, где на поверхности выходят или горные породы, легко растворимые в воде, богатой CO_2 , или же где находятся породы, заключающие растворимые соли, или же где разнообразными процессами выветривания постоянно образуются растворимые соли.

В связи с этим генезис солевого остатка этих вод различный.

Это будут: 1) известковые и магниевые породы – известняки, доломиты и гипсы, выходящие на поверхность; 2) выходы новейших осадочных пород, не потерявших своих растворимых солей – иловых вод морских или озерных; 3) концентрации обычных пресных вод в областях бессточных или с ослабленным стоком, с сухим климатом, с большим испарением и с малыми осадками – в предельных случаях в пустынях и полупустынях.

759. Можно различить воды этого рода, прежде всего, по химическому составу:

1. Кальциевые воды:

1. O – Ca – S – C – Cl.
2. Cl – O – Ca – Mg – C – (Na).
3. O – Ca – S – (C).
4. Бурые O – Ca – C.

2. Кальциево-магниевые воды:

3. O – S – Ca – Mg – (Cl).

3. Натровые воды:

4. Cl – Na.
5. O – Cl – Na – S.
6. Cl – Na – O – C,
7. Cl – Na – O – C – S.

4. Натрово-магниевые воды:

8. Cl – Na – O – Mg – S – (Ca).

5. Селитряные воды:

9. O – N – Ca – Cl – S.

6. Натрово-кальциевые воды:

10. Cl – Na – O – Ca – S.

Систематически эти воды никогда не изучались, и поэтому средние числа здесь пока не могут быть даны со сколько-нибудь достаточной достоверностью.

760. Обращаемся к обычно бедным солевым остатком, сульфатным кальциевым и кальциево-магниевым водам. Их характеристика $O - Cl - Ca - S - (C)$ и $O - S - Ca - Mg - (Cl)$.

761. Среди многочисленных других видов наземных вод я отмечу еще воду под болотом, характеризующуюся $O - Ca - S - (C)$ и лесную бурую воду $- O - Ca - S$.

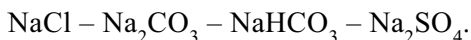
762. Есть области, где в поверхностных водах преобладают атомы кальция, реже магния. Натрий отходит на второй план.

Области бессточные являются особенно благоприятными для создания таких вод. Но то же самое наблюдается и для областей с хорошо выраженным стоком (например, в Южной Америке – в Аргентине).

Эти воды – создания климата, отчасти геологии местности.

Как пример таких вод можно привести данные Р. Штаппенбека (1926) для пампасов Аргентины на основании анализов Г. Дюклу, Лавенира и Каталано. К сожалению, щелочи ими не определены, но в этих водах, как легко можно убедиться из сравнения солевого остатка с числами анализа, натрий отходит на второе место. Это воды $Ca - Mg$. Порядок Na по другим анализам отвечает числам порядка $1,2-1,3 \cdot 10^{-2}\%$ Na .

763. Обращаясь к *натровым водам*, мы имеем по существу смеси трех или четырех компонентов.



Воды, богатые Na_2CO_3 (resp., $NaHCO_3$), отвечают более влажным, богатым жизнью областям.

Очень обычны слабосоленые воды – воды колодцев, родников, верхних грунтовых, где Na уже выступает резко. *Это воды* $Na - (Ca) - Cl - O - S$.

Следующие данные дают понятие о колебании их состава (вес. %)

Плотный остаток $6,0-10^{-1}-1 \cdot 10^{-1}$

Элементы:

Na	$2,0 \cdot 10^{-1}-1,2 \cdot 10^{-2}$	C ³	$1,1 \cdot 10^{-2}-4,1 \cdot 10^{-4}$
Cl	$2,5 \cdot 10^{-1}-1,4 \cdot 10^{-2}$	Si ⁴	$4,7 \cdot 10^{-3}-3,5 \cdot 10^{-4}$
O ¹	$1,0 \cdot 10^{-1}-3,2 \cdot 10^{-2}$	(Fe, Al) ⁵	$n \cdot 10^{-4}-n \cdot 10^{-5}$
S ²	$5,1 \cdot 10^{-2}-2,8 \cdot 10^{-3}$	N ⁶	$1,3 \cdot 10^{-4}-2,6 \cdot 10^{-5}$
Ca	$4,2 \cdot 10^{-2}-8,4 \cdot 10^{-3}$	H ⁷	$9,6 \cdot 10^{-6}-1,9 \cdot 10^{-6}$
Mg	$2,6 \cdot 10^{-2}-8,4 \cdot 10^{-3}$	J	$9,0 \cdot 10^{-6}-8,0 \cdot 10^{-6}$

¹ Из SO_4^{2-} (до $1,5 \cdot 10^{-10}\%$), CO_3^{2-} (до $5,5 \cdot 10^{-2}$). Не приняты во внимание органические вещества, растворенные O_2 и CO_2 ионы NO_3^{1-} и HCO_3^{1-} .

² Из SO_4^{2-} . Не принято во внимание органическое вещество.

³ Из CO_3^{2-} . Не приняты во внимание органическое вещество и растворенная CO_2 .

⁴ Из SiO_2 .

⁵ $Fe_3O_3 + Al_2O_3 - 4,6 \cdot 10^{-4} - \max., 1,0 \cdot 10^{-4} - \min.$

⁶ Из NH_4^{1+} кислородных соединений. Растворенный N_2 не учтен.

⁷ NH_4^{1+} и HCO_3^{1-} .

764. Соленые воды наблюдаются нередко в пустынных местностях может быть в связи с остатками тех иловых вод, которые остались – и метаморфизировались – в морских отложениях, очутившихся на земной поверхности.

Таковы, например, обычно рассольные (§ 856), соленые воды песков Каракум.

765. Такие соленые воды наблюдаются в колодцах (грунтовых горизонтах) около морей, лиманов, соленых и рассольных озер. Это воды Cl – Na, содержащие кислород. Они обычно более богаты карбонатами, чем сульфатами.

Колодезные воды этого рода около рассольных озер в песчаных отложениях могут достигать довольно большой концентрации.

Следующие числа дают о них понятие (вес. %)

Cl – Na			
Плотный остаток		$3,4\% - 2,2 \cdot 10^{-1}$	
Элементы:			
Cl	$2,0 - 4,0 \cdot 10^{-2}$	Si	$5,0 \cdot 10^{-3} - 5,6 \cdot 10^{-4}$
Na ¹	$8,3 \cdot 10^{-1} - 4,0 \cdot 10^{-2}$	K	$3,7 \cdot 10^{-3}$
O ²	$1,9 \cdot 10^{-1} - 3,4 \cdot 10^{-2}$		
Mg	$2,9 \cdot 10^{-1} - 9,0 \cdot 10^{-3}$		
S ³	$9,0 \cdot 10^{-2} - 2,3 \cdot 10^{-2}$	H ⁵	$7,0 \cdot 10^{-4}$
C ⁴	$8,2 \cdot 10^{-2} - 2,0 \cdot 10^{-3}$	Al	$1,4 \cdot 10^{-4}$
Ca	$6,0 \cdot 10^{-2} - 1,6 \cdot 10^{-2}$	Есть Fe	

¹ Калий не отделен.

² Из SO₄²⁻ (до $2,0 \cdot 10^{-1}\%$), CO₂ (до $3,7 \cdot 10^{-3}$), CO₃²⁻ (до $3,4 \cdot 10^{-2}\%$), HCO₃¹⁻ (до $3,6 \cdot 10^{-2}\%$), SiO₂ (до $2,7 \cdot 10^{-3}\%$). Растворенные O₂ и органические вещества не учтены.

³ Из SO₄²⁻.

⁴ Из CO₃²⁻, CO₃ и органические вещества не учтены.

⁵ Из HCO₃¹⁻.

766. Особую группу поверхностных вод должны составлять *селитряные воды*, богатые NO₃¹⁻.

Это частью воды культурные, частью биогенные, по-видимому, в них в связи с естественными селитрянками могут встречаться калиевые, натровые и кальциевые разности.

Они должны образовываться – может быть временно и случайно – в пустынях, бедных или почти лишенных осадков, в областях, где отлагаются селитры, в областях, где распространены селитреносные солонцы и породы, где находятся селитряницы, и в теплом, бедном осадками климате в связи с бактериальными процессами, часто в местах древних поселений человека или скоплений животных остатков.

Анализ этих вод я не знаю.

Богатые NO₃¹⁻ воды, тесно связанные с поверхностным выветриванием, наблюдаются в измененных культурой источниках.

767. Богатые солью – *соленые и солоноватые реки* не достаточно исследованы (мало анализов), чтобы можно было сейчас дать вполне точную картину явления.

По-видимому, наиболее характерны ионы Cl^{-} , SO_4^{2-} , Na^{1+} – иногда Ca^{2+} , который может быть близок по процентному содержанию к натрию.

Некоторое понятие дают следующие числа (вес. %)

Cl – Na			
<i>Плотный остаток</i> $3,0\% - 1,1 \cdot 10^{-11}$			
<i>Элементы:</i>			
Cl	$1,7-7,0 \cdot 10^{-3}$	K	$8,2 \cdot 10^{-3}-3,7 \cdot 10^{-4}$
Na	$7,7 \cdot 10^{-1}-7,3 \cdot 10^{-3}$	Fe	$6,3 \cdot 10^{-3}-2,0 \cdot 10^{-6}$
Mg	$4,3 \cdot 10^{-1}-7,2 \cdot 10^{-4}$	Al	$3,4 \cdot 10^{-3}-3,1 \cdot 10^{-4}$
O ²	$4,2 \cdot 10^{-1}-3,3 \cdot 10^{-2}$	H ⁷	$2,0 \cdot 10^{-3}-1,3 \cdot 10^{-4}$
S ³	$1,9 \cdot 10^{-1}-3,3 \cdot 10^{-3}$	N ⁸	$4,6 \cdot 10^{-4}-1,7 \cdot 10^{-5}$
Ca	$1,1 \cdot 10^{-1}-5,0 \cdot 10^{-3}$	Rb	$2,3 \cdot 10^{-4}-1,3 \cdot 10^{-4}$
Zn ⁴	$7,3 \cdot 10^{-2}-0 (3,0 \cdot 10^{-5})$	Mn	$7,2 \cdot 10^{-5}$
C ⁵	$3,5 \cdot 10^{-2}-1,1 \cdot 10^{-4}$		
Si ⁶	$2,9 \cdot 10^{-2}-1,9 \cdot 10^{-4}$		

Органические вещества $2,9 \cdot 10^{-2}-1,6 \cdot 10^{-3}$

¹ Реки – небольшие – более богаты солью, больше 2% твердого остатка.

² Ионы SO_4^{2-} (до $5,6 \cdot 10^{-10}\%$), CO_3^{2-} (до $7,8 \cdot 10^{-2}$), HCO_3^{-} (до $9,9 \cdot 10^{-20}\%$). NO_3^{-} (до $3,2 \cdot 10^{-40}\%$), мицеллы SiO_2 (до $7,4 \cdot 10^{-3}\%$), органические вещества (до $2,9 \cdot 10^{-9}\%$). Растворенный O_2 не принят во внимание.

³ Из иона SO_4^{2-} .

⁴ Максимальное число связано с культурным влиянием (Спрингги Ривер в Канзасе по Е. Бэли, 1911), но Zn находится в речных водах в области цинкосодержащих пород – известняков и т.п., – выходящих на поверхность биосферы.

⁵ Из органического вещества, иона CO_3^{2-} . Растворенная CO_2 не учтена.

⁶ Из мицелл SiO_2 .

⁷ Из HCO_3^{-} (до $4,3 \cdot 10^{-2}$).

⁸ Не учтен растворенный N_2 . Очевидно, это количество азота отвечает порядку $10^{-3}\%$. Из NO_3^{-} .

768. Реки меняют свой состав, а не только концентрацию, в разные периоды своего годового цикла, например, по анализу Билля, приводимому Ф. Кларком, река Шелиф в Алжире имеет разный состав во время низкого стояния (I), в половодье (II) (в вес. %):

O – Cl – Na – S			
I		II	
<i>Плотный остаток</i>			
$6,7 \cdot 10^{-1}$		$1,2 \cdot 10^{-1}$	
<i>Элементы:</i>			
O ¹	$1,9 \cdot 10^{-1}$		
Cl	$1,8 \cdot 10^{-1}$		
Na	$1,4 \cdot 10^{-1}$		
S ²	$9,0 \cdot 10^{-2}$	O ³	$4,1 \cdot 10^{-2}$
Ca	$5,0 \cdot 10^{-2}$	C	$3,2 \cdot 10^{-2}$
Mg	$2,8 \cdot 10^{-2}$	Na	$2,0 \cdot 10^{-2}$

		Ca	$1,4 \cdot 10^{-2}$
		S ²⁻	$1,2 \cdot 10^{-2}$
C ⁴	$1,3 \cdot 10^{-3}$	Mg	$4,9 \cdot 10^{-3}$
		C ⁵	$2,2 \cdot 10^{-3}$
Si	$2,4 \cdot 10^{-4}$	Fe	$9,8 \cdot 10^{-4}$
Fe	$1,4 \cdot 10^{-4}$	Si	$1,9 \cdot 10^{-4}$

¹ CO₂, O₂ и органические вещества не учтены.
Из CO₃²⁻ (до $6,4 \cdot 10^{-3}\%$). SO₄²⁻ (до $2,7 \cdot 10^{-1}\%$).
SiO₂ (до $5,0 \cdot 10^{-4}$).

² Из SO₄²⁻.

³ CO₂, O₂ и органические вещества не учтены.
Из CO₃²⁻ (до $1,1 \cdot 10^{-2}\%$). SO₄²⁻ (до $3,6 \cdot 10^{-2}\%$).
SiO₂ ($4,1 \cdot 10^{-4}$).

⁴ Из CO₃²⁻ (до $6,4 \cdot 10^{-3}$)

⁵ Из CO₃²⁻ (до $1,1 \cdot 10^{-2}$).

Совершенно ясно, что меняется и отношение ионов, т.е. химические реакции в этом водном равновесии идут разно.

Это видно из того, что принимая в обоих случаях Cl за 100, мы имеем для других ионов следующие числа:

	I	II
Cl ¹⁻	100	100
CO ₃ ²⁻	3	34,4
SO ₄ ²⁻	150	112,5
Na ¹⁺	77,7	62,5
Ca ²⁺	27,7	43,7

769. Особым типом рек являются реки, связанные с выходом на земную поверхность мощных вод *подцарства восходящих вод* – главным образом минеральных источников.

Здесь же должны быть отнесены ирригационные воды. Это – воды культурные, но ввиду их распространенности, их древности, интенсивности их влияния на окружающую природу, большого значения в биосфере – нельзя их оставить и здесь без внимания. Они дают переходы в пресные ирригационные воды (§ 619). Мы знаем их очень недостаточно, как это указано при рассмотрении пресных ирригационных вод.

770. Наиболее изучен *озерный тип* воды этого подцарства. Замкнутость этих водоемов – полная или неполная – позволяет достигать большой индивидуальности химических реакций.

Газовый режим соленых озер, несмотря на большое внимание, которое уделяется в лимнологии изучению газов, далеко не ясен.

Неясно прежде всего, имеем ли мы озера, бедные углекислотой, или же соленые озера все входят в подкласс N₂-O₂-CO₂. Их редкость в высокогорной области исключает или делает редким тот подкласс N²-O², который характерен для холодных, бедных жизнью, пресных озер. Для глубоких холодных озер надо учитывать еще и неустойчивость газообразной фазы CO₂.

С другой стороны, в условиях соленых озер растворенная углекислота очень легко превращается в ионы. Существование и широкое распространение содовых озер (§ 779) служат ярким проявлением этого процесса.

Очень плохо изучено распространение инертных газов – азота, благородных, метана.

Из компонентов резко выдвигается Na^{+} и анионы Cl^{-} , CO_3^{2-} , HCO_3^{-} , SO_4^{2-} . Магний увеличивается в своем значении с концентрацией. Благодаря неизбежному влиянию углекислоты концентрация Ca^{2+} задерживается – он выпадает из раствора при уходе CO_2 .

Хлор и комплексные ионы SO_4^{2-} и CO_3^{2-} играют основную роль в составе этих вод. При этом нередки переходы, и границы между видами Cl-Na , O-Na-C и O-Na-S не всегда могут быть четко проведены. Озера, в которых кальций преобладает над натрием, что неизбежно при избытке иона SO_4^{2-} , отличаются малой соленостью.

Есть озера, в которых должен быть принят во внимание бор, так как эти борсодержащие (натровые) воды играют большую роль в создании борных минералов, хотя количество бора никогда не достигает тех количеств, какие наблюдаются для Na, Cl, C, O, S, Ca и Mg.

Среди озер есть озера, происхождение воды и компонентов которых не является поверхностным или результатом механизма биосферы. Часть воды и компонентов приносится снизу восходящими водами.

Во всяком озере подземные пластовые воды – верховодки – играют значительную роль, но верховодки в отличие от других пластовых вод теснейшим образом связаны с метеорными и наземными водами, т.е. с поверхностью биосферы. Но есть другие озера, воды которых связаны с вулканами, гейзерами, грязевыми сопками. Состав воды их сложный, и роль подземных вод нередко господствующая. Эти озера я переносу в подцарство подземных вод (§ 796).

Среди соленых озер отдельно надо поставить содовые и поташные озера (§ 779), которые являются результатом химических реакций, частью биогенных: солевой их состав в основной части образуется в озере.

771. Газовый режим соленых озер в основных чертах повторяет явления, наблюдаемые в озерах пресных. Однако здесь есть важные особенности.

Растворимость кислорода и азота воздуха зависит от температуры, давления, солености и коэффициента растворенного газа.

Но затем на этом общем фоне проявляются другие факторы и прежде всего явления жизни.

В области развития фитопланктона констатирована «пересыщенность» кислорода, достигающая многих десятков нормального процента. Так, для большого горного озера Иссык-куль (высота 1717,2 м над уровнем моря), по В.П. Матвееву (1930), пересыщение достигало 12% (112% вместо 100). Область «пересыщения» или вернее обогащения кислородом лежит на некоторой глубине от поверхности; для летних месяцев, например, на Иссык-куле (высоком горном озере) и в Каспийском море (расположенном в низине) область обогащения находится на одной и той же глубине – 25–50 м.

Мне неизвестны для соленых озер указания на биогенные обогащения азотом, которые должны в них наблюдаться и очевидно существуют.

Эти биогенные обогащения являются не пересыщенными растворами, но в значительной мере эмульсиями, связанными с микроскопическими организмами, находящимися в сложных равновесиях и непрерывно изменяющимися.

В больших горных и в горных озерах вообще кислород проникает до дна в значительных массах, например, в Иссык-куле на глубине 700 м наблюдались его количества, равные 75% насыщения, несмотря на потребление бесхлорофильным живым веществом.

772. В озерах соленых к эффекту, производимому жизнью, прибавляются химические реакции. Как уже указывалось не раз, углекислота может находиться в водном растворе в форме CO_2 , CO_3^{2-} и HCO_3^{1-} . Чрезвычайно легко образуются двууглекислые соли металлов, так что в присутствии металлических ионов и CO_2 образуются ионы H^{1+} и HCO_3^{1-} , а CO_2 как газ может отсутствовать.

Количество растворенной углекислоты благодаря этому должно уменьшаться.

Тот же эффект должно производить в глубоких и холодных озерах проявление поля устойчивости жидкой угольной кислоты.

В связи с этим иногда вода совсем не заключает CO_2 , как это, например, указывает В. Матвеев (1930) для Иссык-куля.

С точки зрения принятой здесь классификации это будет вода подкласса $\text{N}_2\text{-O}_2$.

Газовый режим отдельных частей озерных бассейнов (например, затонов» Иссык-куля), которые не находятся в полном обмене с главной водой озера, может давать многочисленные особенности. Эти участки могут переходить и в пресные и в рассольные воды. Они могут обедняться кислородом и в глубоких частях обогащаться H_2S , но благодаря развитию фитопланктона могут достигать для поверхностных слоев высокого насыщения кислородом (до 269,4% против нормального для затонов Иссык-куля, по В. Матвееву, 322,2% в озере № 9 у Черной Губы Новой Земли, по П. Ушакову и В. Тимонову и т.д.).

773. Как уже указывалось (§ 625), состав озера очень нередко в вертикальном разрезе, на всем протяжении, послойно различен. Поэтому для очень многих озер необходимо не только различать как особый вид донную воду, обычно другого подкласса, но несколько различных вод разных видов, подклассов и даже классов. Соленые озера иногда послойно состоят из пресных (наверху) и соленых вод, а книзу иногда наблюдаются *рассольные воды*. Так, например, для озера № 9 состава Cl-Na на Новой Земле в «Ковши Становища» (у Черной Губы), по Е. Крепсу (1927), наблюдается концентрация 3,1% при содержании 1,7% Cl , и на дне количество хлора¹ доходит до 2,4%.

Но помимо изменения в вертикальном разрезе многие озера благодаря мелкости, благодаря сложности своего нахождения и других причин сильно меняются и в горизонтальном сечении в своем составе, переходя из класса соленых в пресные и обратно. Уже не раз мне случалось на это указывать.

Особенно резко это сказывается в местах интенсивной культуры для мелких озер, естественных и искусственных прудов например.

¹ Вг и J не отделены.

В таких случаях и состав воды в разных участках озера, на равном расстоянии от его уровня, в разные времена года меняется в разных местах различно. Валовой состав очень сложный.

Для озер, богатых кальцием, подобно тому, что наблюдается для гидросферы, мы имеем случаи насыщенного раствора для ионов кальция.

774. Сейчас можно выделить следующие виды соленой озерной воды, богатой хлором¹ и им бедной, богатой сульфатами и карбонатами.

<ol style="list-style-type: none"> 1. Cl – Na 2. Cl – Na – O 3. Cl – O – Na – S 4. Na – O – Cl – S – C 	}	Есть между ними переходы		<ol style="list-style-type: none"> 11. O – Na – Cl – K – C 12. O – K – Na – S – C 13. O – S – Ca – Na 14. O – Ca – S – C 15. O – S – Ca 	}	Содовые озера
<ol style="list-style-type: none"> 5. O – Na – S 6. O – Na – S – Mg 7. O – Na – Cl – B – N 8. O – S – Ca – Na 9. Na – Cl – O – C – S 10. O – Na – C 						

775. Химический состав озерной воды виден из данных следующих анализов (вес.%)²:

Cl–Na ¹	Cl–Na–O–(C) ² <i>Плотный остаток</i>	Cl–Na–O–S
4,6–3,5 · 10 ⁻¹	4,4–2,5 · 10 ⁻¹ <i>Элементы</i>	4,8–1,3 · 10 ⁻¹
Cl 2,7–1,4 · 10 ⁻¹	Cl 1,9–4,6 · 10 ⁻²	Cl 1,9–29 · 10 ⁻¹
Na 1,5–1,2 · 10 ⁻¹	Na 1,5–1,0 · 10 ⁻¹	Na 1,3–2,1 · 10 ⁻²
	O ³ 1,2–6,9 · 10 ⁻²	
O ⁴ 9,0 · 10 ⁻¹ –1,7 · 10 ⁻²		
S ⁶ 5,3 · 10 ⁻¹ –1,9 · 10 ⁻³	C ⁵ 2,7 · 10 ⁻¹ –1,4 · 10 ⁻²	
Mg ⁸ 2,0 · 10 ⁻¹ –5,7 · 10 ⁻⁴	S ⁶ 1,5 · 10 ⁻¹ –2,9 · 10 ⁻⁴	
C ⁹ 1,6 · 10 ⁻¹ –5,2 · 10 ⁻⁴		O ⁷ 8,6 · 10 ⁻¹ –2,6 · 10 ⁻²
Ca 1,4 · 10 ⁻¹ –5,2 · 10 ⁻⁴ (сл.)		S ⁶ 4,8 · 10 ⁻¹ –1,1 · 10 ⁻²
		Ca 4,2 · 10 ⁻¹ –1,6 · 10 ⁻³
		Mg 2,1 · 10 ⁻¹ –1,5 · 10 ⁻³
		K 1,4 · 10 ⁻¹ –2,1 · 10 ⁻³
K 6,1 · 10 ⁻² –5,2 · 10 ⁻⁴ (сл.)	K 9,4 · 10 ⁻² –2,0 · 10 ⁻³	C ¹⁰ 2,4 · 10 ⁻² –4,6 · 10 ⁻⁴
N ¹¹ 1,4 · 10 ⁻² –2,3 · 10 ⁻⁵	Mg 4,1 · 10 ⁻² –4,0 · 10 ⁻⁵	Fe 1,0 · 10 ⁻² –2,1 · 10 ⁻⁵
Br 1,2 · 10 ⁻² –6,0 · 10 ⁻⁵	Si ¹² 4,0 · 10 ⁻² –3,1 · 10 ⁻⁴	

¹ Мы не знаем вод K – Na – Cl (может быть, K – Na – Mg – Cl) морского происхождения, которые существовали, например, в пермскую эпоху в озерах пустынь (например, Стассфурт), их сейчас, по-видимому, в биосфере нет.

² Нигде не анализированы растворенные газы. Для соленых и рассольных озер в особенности их определение имеет большой научный интерес, ибо далеко не всегда можно предвидеть химическую историю озерной воды, если не учитывать газовый ее обмен, особенно CO₂. Все числа для C, O, H и N изменятся. Порядок N всегда будет порядком декады 10⁻³%.

Si ¹²	1,1 · 10 ⁻² –6,1 · 10 ⁻⁵	Ca	2,5 · 10 ⁻² –9,0 · 10 ⁻⁴		
		H ¹³	1,4 · 10 ⁻² –7,0 · 10 ⁻³		
P ¹⁴	4,8 · 10 ⁻³ –7,7 · 10 ⁻⁵	Fe	7,0 · 10 ⁻³ –1,8 · 10 ⁻⁵	Br	6,5 · 10 ⁻³ –3,3 · 10 ⁻⁷
Al	3,4 · 10 ⁻³ –1,8 · 10 ⁻⁴ (сл.)	P ¹⁴	2,7 · 10 ⁻³ –3,5 · 10 ⁻⁵	Si	1,6 · 10 ⁻³ –1,3 · 10 ⁻⁴
Fe	1,1 · 10 ⁻³ –2,8 · 10 ⁻⁵	B ¹⁵	2,7 · 10 ⁻³ –(сл.)		
H	7,3 · 10 ⁻⁴ –1,5 · 10 ⁻⁵	N ¹⁶	7,5 · 10 ⁻⁴ –1,6 · 10 ⁻⁵	Al	9,8 · 10 ⁻⁴ –8,0 · 10 ⁻⁵
B ¹⁵	4,8 · 10 ⁻⁴	Al	5,3 · 10 ⁻⁴ –2,4 · 10 ⁻⁵	Rb	8,1 · 10 ⁻⁴
		Li	2,6 · 10 ⁻⁴	H ¹³	4,3 · 10 ⁻⁴ –1,1 · 10 ⁻⁴
				J	2,0 · 10 ⁻⁴ –6,8 · 10 ⁻⁵
J	2,0 · 10 ⁻⁵			Sr	1,8 · 10 ⁻⁴ –1,7 · 10 ⁻⁴
				P	8,8 · 10 ⁻⁵ –4,8 · 10 ⁻⁶
				Li	7,2 · 10 ⁻⁵ –7,0 · 10 ⁻⁵
Vn	8,7 · 10 ⁻¹⁸ –1,5 · 10 ⁻¹⁸				

Есть Mn

¹ Есть переходы в рассольные озера и, очевидно, в пресные.

² Содовые и поташные озера стоят в стороне от этих карбонатных озер (§ 779). Они должны быть отделены и от Na–Cl–CO₃, хотя между Na–C–O и Na–Cl–C–O есть переходы. Богатые калием озера K–C–O (где K = или > Na) не дают перехода в содовые: это озера Небраски особого происхождения и переходят в рассолы K–C–O. Бедные или не заключающие хлора содовые соленые воды являются верхними водами самосадочных содовых рассольных озер.

³ Из ионов CO₃²⁻ (до 8,5 · 10⁻¹⁰%), SO₄²⁻ (до 4,5 · 10⁻¹⁰%), B₄O₇²⁻ (9,4 · 10⁻³⁰%) NO₃¹⁻ (3,3 · 10⁻³⁰%), PO₄³⁻ (до 1,8 · 10⁻⁴⁰%). Мицелл SiO₂ (до 1,9 · 10⁻²⁰%). Органическое вещество, растворенные O₂ и CO₂ не приняты во внимание.

⁴ Из ионов CO₃²⁻ (до 8,1 · 10⁻¹⁰%), SO₄²⁻ (до 5,4 · 10⁻¹⁰%), NO₃¹⁻ (до 4,8 · 10⁻³⁰%), B₄O₇²⁻ (1,7 · 10⁻³⁰%), PO₄³⁻ (до 6,1 · 10⁻⁴⁰%), HCO₃¹⁻ (до 8,8 · 10⁻¹⁰%). Органические вещества, растворенные CO₂ и O₂ не приняты во внимание.

⁵ Из CO₃²⁻. Не приняты во внимание органические вещества и CO₂.

⁶ Из SO₄²⁻.

⁷ Из ионов SO₄²⁻ (до 1,9%), CO₃²⁻ (до 3,3 · 10⁻²⁰%), PO₄³⁻ (до 2,7 · 10⁻⁴⁰%), мицелл SiO₂ (до 3,4 · 10⁻³⁰%), B₄O₇²⁻ (до 1,6 · 10⁻²⁰%). Растворенные CO₂ и O₂ не приняты во внимание.

⁸ Может быть иногда «следы».

⁹ Из CO₃²⁻. Не приняты во внимание органические вещества и растворенная CO₂.

¹⁰ Из CO₃²⁻. Не приняты во внимание органические вещества и растворенная CO₂.

¹¹ Азот белковых веществ (до 7,0 · 10⁻³⁰%), NH₄¹⁺ (до 8,4 · 10⁻³⁰%), NO₃¹⁻ (до 4,8 · 10⁻³⁰%). Растворенный азот не принят во внимание.

¹² Из SiO₂.

¹³ Из HCO₃¹⁻ (до 4,3 · 10⁻³⁰%).

¹⁴ Из PO₄³⁻. По Бурксеру, 1,5 · 10⁻²⁰% HPO₄²⁻ для Голопристанского озера (1923).

¹⁵ Из B₄O₇²⁻.

¹⁶ Из NO₃¹⁻ (до 3,3 · 10⁻³⁰%). Органическое вещество и растворенный N₂ не учтены.

776. Самые большие скопления соленой воды на суше принадлежат к виду –Na – Cl – O – S – как, например, «моря» Каспийское и Аральское.

Можно проследить очень глубоко в геологическую даль историю этих обоих озер, особенно Каспийского моря – на миллионы лет – к середине третичной эпохи. По Н.И. Андрусову, в верхнемиоценовое время – приблизительно 15–20 миллионов лет тому назад – произошло отделение Каспийского моря от Океана, закончившееся в начале плиоцена (понтическое время –

миллионы лет назад). Включенный в современный Каспий, Сарматский бассейн простирался «от Вены до Карабугаза и от Новочеркаска до Мраморного моря». Каспий входит в состав большого озера-моря *морского происхождения*. Это большое озеро-море начинает распадаться, и Каспий (в больших размерах, чем современный) отделяется от Черного моря и западных частей нижнеплиоценового озера вообще. В верхнеплиоценовое время (несколько миллионов лет назад) между ним и Черным морем на время устанавливается связь – несовершенная – через Манычскую впадину. С этого времени и по сей час, Каспий, уменьшившийся в размерах, ведет самостоятельное существование¹.

Состав его воды, исходя из океанической воды, отразил миллионы лет тянувшуюся историю и пришел к устойчивому составу соленых озер, более бедных солями, чем океаническая вода, к виду Cl – Na – O – S. Его вода не морская, не вода гидросферы.

Эта вода на площади, равной $4,3634 \cdot 10^5$ км² (по А. Тилло и Ю. Шокальскому), отвечает объему $7,9319 \cdot 10^4$ км³ (по Н. Книповичу). Одна Волга приносит в него в год 301,2 км³ (по Н. Книповичу) – две трети всего его речного приноса. Все реки – 498,6 км³ (по С. Ковалевскому) – 433,8 км³ (по Н. Книповичу) в год. Озерный характер Каспия ярко сказывается в том, что светлая область Каспия (нацело проникнутая светом солнца) занимает больше 65% его поверхности, четверть его воды (Н. Книпович).

777. Состав воды *Каспийского моря* виден из следующих, предельных чисел (вес. %):

Cl – Na – O – S

*Плотный остаток*¹ 1,3–1,0 (среднее – 1,285)

Элементы:

Cl ²	$5,6 \cdot 10^{-1}$ (среднее $5,2 \cdot 10^{-1}$)	K	$9,0 \cdot 10^{-3}$ – $6,6 \cdot 10^{-3}$
Na	$3,3 \cdot 10^{-1}$ – $3,0 \cdot 10^{-1}$	Br	$6,5 \cdot 10^{-3}$ – $6,0 \cdot 10^{-4}$
O ³	$2,1 \cdot 10^{-1}$ – $1,5 \cdot 10^{-1}$	C ⁴	$5,1 \cdot 10^{-3}$ – $1,2 \cdot 10^{-3}$
S	$1,4 \cdot 10^{-1}$ – $9,2 \cdot 10^{-2}$	Pb ⁵	$2,6 \cdot 10^{-4}$ – $2,3 \cdot 10^{-4}$

¹ По Н.М. Книповичу (1921): «Если не принимать во внимание Карабугазский залив, превратившийся в сущности в самосадочное озеро, в которое стекает непрерывно часть воды Каспийского моря, и залив Комсомольский с ведущим в него проливом и открывающимся в него заливом Кандак и также залив Кендэри, то можно сказать, что соленость воды Каспийского моря колеблется в пределах от чистой речной воды, которая в Волге содержит несколько менее 0,3 (0,279), до 14 с небольшим частей на 1000, т.е. $3,0 \cdot 10^{-2}\%$ ».

² По Книповичу (1921).

³ CO₂ растворенный и органическое вещество не учтены. Из SO₄²⁻ (до $3,1 \cdot 10^{-1}\%$), CO₃²⁻ ($1,2 \cdot 10^{-2}\%$). В начале августа 1915 г. наблюдалось максимальное пересыщение кислородом на глубине 25 м в 169,42%, т.е. больше $1,2 \cdot 10^{-3}\%$ O₂. Это не предельное число. По всей вероятности получились бы значительно большие цифры, если бы не были произведены наблюдения в районах мощного развития водорослей Polysiphonia (Н. Книпович, 1930).

⁴ Из CO₃²⁻; CO₂ и органическое вещество не учтены.

⁵ Числа К. Шмидта требуют проверки.

¹ По В.В. Бигачеву (1928), северная половина Каспия образовалась в среднемиоценовое время, а южная – в верхнемиоценовое. Водный режим их различен (Книпович, 1922). Весьма вероятно полное замирание в постплиоценовое время.

Mg	$7,2 \cdot 10^{-2}$ – $8,6 \cdot 10^{-2}$	B	$6,8 \cdot 10^{-4}$
Ca	$2,9 \cdot 10^{-2}$ – $3,8 \cdot 10^{-2}$	Si	$9,0 \cdot 10^{-4}$ – $9,4 \cdot 10^{-5}$
		P	$7,0 \cdot 10^{-5}$ – $5,3 \cdot 10^{-5}$
		Fe	$6,0 \cdot 10^{-5}$ – $4,0 \cdot 10^{-5}$

Отличие солевой массы Каспийского моря от морей современных (см. ниже следующую таблицу), ясно видно из сопоставления А. Лебединцева (1901). Причина различия, как все указывает, кроется не в различии состава третичных морей от современных, а в том новом равновесии, в которое перешли с ходом геологического времени третичные морские воды, которые сложными путями с перерывами (была и суша) явились родоначальником вод Каспия. Перерывы могли длиться десятки тысяч лет – больше, чем вся история цивилизованного человечества.

	I. Каспийское море. (Среднее из 6 анализов)	II. Океан (по Тулэ).
NaCl	62,15	77,78
MgSO ₄	23,58	6,44
CaSO ₄	6,92	3,50
MgCl ₂	4,47	9,54
KCl	1,21	2,09
CaCO ₃	1,24	0,35
MgBr	0,02	0,22

Придонная вода Каспия, насколько знаю, химически не изучена. Она лишена кислорода¹ и должна принадлежать к подклассу N₃ – H₂S, если только в ней нет углеводородов (CH₄), сероводорода в ней до $6,2 \cdot 10^{-5}\%$. CO₂ должна отсутствовать².

778. Существуют озерные воды более сложного характера, характеризующиеся одновременным значительным количеством ионов SO₄²⁻ – Cl¹⁻ – CO₃²⁻.

779. Отдельно стоят *содовые озера* – мне кажется, в связи с тем, что их образование является не простым растворением, но результатом идущей в биосфере в большом масштабе *биогеохимической реакции*.

Сода образуется в почве при бактериальном анаэробном разложении органических веществ в присутствии натровых солей; возможно и взаимодействие между карбонатом кальция и солями натрия. Ф. Рессель допускает, что в присутствии бактериальных процессов в сульфатных озерах с водой O – Na – S, богатых органическими веществами, идет переход их воды в воду O – Na – C. Большая часть содовых озер связана с биогенным образованием Na₂CO₃. Во время этого процесса в значительной мере благодаря воздействию CO₂ биогенного происхождения образуется *сода*, легко растворимое в условиях поверхности биосферы тело, дающее концентрированные растворы – содовые озера. В условиях своего образования содовые озера чрезвычайно легко дают рассольные озера.

Соленые содовые воды являются быстро проходящими временными образованиями: они или переходят в рассольные озера в пределах исторического

¹ От $1,4 \cdot 10^{-4}\%$ до 0. Глубины 500 м и больше.

² Ибо здесь должна быть область малой устойчивости газообразной углекислоты. По Н. Книповичу (1921), давление может быть больше 90 атм. Температура около 5°.

времени, или – как более легкие – образуют верхние слои рассольных озер, большей частью совершенно постепенно переходя в более глубокие рассольные содовые воды. Благодаря такому образованию, – биохимическому синтезу – содовые озера, особенно конечные рассольные их виды, отличаются необычной для поверхностных вод чистотой.

780. Во всех озерах необходимо рассматривать как другой вид *донные воды*, которые химически отличаются от обычной озерной воды уже по своим компонентам и особенно по газовым компонентам.

Очевидно, мы имеем очень много видов донных озерных вод – больше, чем мы их отличаем по основной воде озера.

К сожалению, анализов этих вод очень мало, и они очень неполны.

Иногда эти воды резко выделяются среди вод озера, например, в тех случаях, когда их солевой состав и газовый очень отличны от состава верхних вод озера.

Таковы случаи большого обогащения донных *вод сероводородом* и исчезания в них растворенного кислорода. В то время когда озеро по воде должно быть отнесено к подклассу *углекисло-азотно-кислородному*, донная вода относится к подклассу *азотно-углекисло-сероводородному* (в глубоких к $N_2-H_2S?$), иногда – может быть нередко – вместо сероводорода или вместе с сероводородом – выступает *метан*.

Иногда образуются озера, в которых вода донная и вода основная резко разделены, подобно тому как это наблюдается для Черного моря.

Таково, например, Могильное озеро на острове Кильдине или все озера – морского происхождения – на Новой Земле.

Для Могильного озера до 11 м глубины идет обычная соленая морская вода, разбавленная пресной метеорной, сверху пресная, измененная смешанной жизнью пресной и морской. Глубже идет вода, соленость которой близка к морской, лишенная кислорода и обогащенная сероводородом. Следующие данные К.М. Дерюгина (1928) дают понятие об этом явлении:

Глубина, м	Плотный остаток, вес. %		O ²	H ₂ S	рН (по Ф. Белову)
	1901	1921	вес. % 1921	вес. % 1921	
	0–4	$9,7 \cdot 10^{-1}$	$7,0 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	
5–9	3,12	$2,5 \cdot 10^{-1}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	
10–16	3,2	2,2		$4,0 \cdot 10^{-3}$	7,0

Для поверхности воды (класс $N_2-CO_2-O_2$) анализ К. Шмидта дает следующие числа (вес. %):

Cl–Na

Плотный остаток $2,7 \cdot 10^{-1}$

Элементы:

Cl	$1,4 \cdot 10^{-1}$	S ⁴	$6,8 \cdot 10^{-3}$
Na	$7,6 \cdot 10^{-2}$	Ca	$6,2 \cdot 10^{-3}$
K ¹	$2,8 \cdot 10^{-2}$	Fe	$3,0 \cdot 10^{-4}$
O ²	$2,1 \cdot 10^{-2}$	H ⁵	$1,4 \cdot 10^{-4}$

C ³	1,8 · 10 ⁻²	Si	1,3 · 10 ⁻⁴
Mg	1,0 · 10 ⁻²	P	1,1 · 10 ⁻⁴

Есть Br (следы)

¹ Содержит Rb.

² Из HCO₃¹⁻ (1,3 · 10⁻²%), SiO₂ (2,8 · 10⁻⁴), PO₄³⁻ (3,3 · 10⁻⁴), SO₄²⁻ (2,0 · 10⁻²). O₂ и CO₂ раств. не учтены. Органическое вещество не определено.

³ Из HCO₃¹⁻; CO₂ и органическое вещество не учтены.

⁴ Из SO₄²⁻. Органическое вещество не учтено.

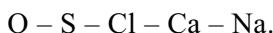
⁵ Из HCO₃¹⁻.

Ввиду своеобразия этой воды желательно иметь новый полный анализ.

781. Отдельно должны быть поставлены *подземные озера* в сообщающихся с земной поверхностью пещерах. Их газовый режим и их биологические компоненты должны быть своеобразны. Отсутствие света должно исключать тот зеленый растительный мир, который накладывает такие неизгладимые, своеобразные черты на всю химию, на всю структуру поверхностных вод.

С этой точки зрения подземные озера – в химическом характере их воды – совершенно не изучены.

Как пример такого соленого озера можно привести Бахарданское (Дурунское) подземное озеро в Копет-Даге, относящееся к виду



Здесь развивается анаэробная жизнь, выделяющая сероводород, разлагающая сульфатные ионы. Сера находится в виде пленки на поверхности озера.

Следующие данные взяты из анализов Г. Булгакова (1915) и более нового приведенного Никшичем (1926).

Подземное Бахарданское озеро, вес. %
Плотный остаток 2,9–2,8 · 10⁻¹

Элементы:

O ¹	1,0 · 10 ⁻¹ –1,7 · 10 ⁻¹	C	6,2 · 10 ⁻³ –2,0 · 10 ⁻³
Na	4,9 · 10 ⁻²	Mg	5,3 · 10 ⁻³ –9,3 · 10 ⁻³
Cl	4,7 · 10 ⁻² –4,1 · 10 ⁻²	Si	5,2 · 10 ⁻³ –4,7 · 10 ⁻³
S ²	4,2 · 10 ⁻² –5,1 · 10 ⁻²	K	2,7 · 10 ⁻³ –4,0 · 10 ⁻³
Ca	3,2 · 10 ⁻² –2,7 · 10 ⁻²	N ³	1,4 · 10 ⁻³ –1,4 · 10 ⁻⁴
		Al	2,7 · 10 ⁻⁴
		H	8,1 · 10 ⁻⁵

Есть Fe, B.

¹ Из SiO₂ (до 1,1 · 10⁻²%), SO₄²⁻ (до 2,3 · 10⁻¹), CO₃²⁻ (до 3,1 · 10⁻²).

² Из H₂S, SO₄²⁻ (до 2,3 · 10⁻¹).

³ Из NH₄¹⁺ (до 5,4 · 10⁻³ NH₄Cl).

782. Совершенно не изучены и здесь могут быть только отмечены *соленые болотные воды*.

Как мы видели, процесс перехода пресных озер в соленые озера противоположен и параллелен переходу пресных озер в болота. Поэтому соленые болота образуются необычным для болот путем.

Они образуются частью на океанических побережьях (мангровые болота), попадая тогда по принятой в этой книге классификации, в семейство морских вод.

Собственно соленые болотные воды наблюдаются среди солонцов (богаты CaCl_2 ?) и в местах выходов соленых источников и соленых верховодок.

По-видимому, в тропических и в подтропических областях среди богатых органическими веществами поверхностных вод наблюдаются *соленые болота*, которые, судя по данным Ф. Фрейзе (1932) для Южной Америки (например бассейн р. Сан-Франсиску), должны быть очень своеобразны. К сожалению, все указанные явления не изучены. Анализы вод мне неизвестны.

783. Сложным типом вод, происхождение которых неясно, являются различные *азотнокислые воды*. Те из них, которые изучены (Грансак во Франции, изученные А. Карно (1890) или священный источник Цен-Цен в Мекке), изменены культурой и связаны с верховодками. Культурным изменением, по-видимому, определяется сложность этих вод. Мало вероятно связь их с восходящими водами – с термальными источниками, но очень вероятно связь с верхними пластовыми водами, т.е. эти воды должны быть рассматриваемы как своеобразные верховодки или более глубокие пластовые воды, выходящие на поверхность обычно измененными жизнью человека.

Однако ионы NO_3^{1-} не могут, как правильно отметил Ф. Кларк (1924), считаться всецело или даже в большей части продуктом жизнедеятельности человека. Кислородные сложные ионы азота широко распространены не только в поверхностных и в пластовых водах, в частности в верховодках; они образуются в почвах и в тропосфере частью жизнедеятельностью бактерий, частью процессами окисления, вызванного озоном, перекисью водорода, ультрафиолетовыми излучениями или электрическими разрядами. Широкое распространение в биосфере имеют содержащие селитру (селитренные) известняки (например у нас в б. Кубанской и в б. Терской областях). Неизвестно, к сожалению, до каких глубин идет в них селитра – есть ли такие известняки в стратосфере?

Но существование азотнокислых ионов в водах напорных – в пластовых водах и в водах подземных водовместилищ, связанных с массивными породами, – несомненно. Ион NO_3^{1-} может быть связан с окислением иона NH_4^{1+} , увеличивающегося в водах более глубокого происхождения. Геохимия азота в природных водах, о чем я буду говорить позже, указывает, мне кажется, с достаточной точностью на возможность образования азотнокислых вод вне прямого или косвенного участия человека и на огромное значение этого химического явления в земной коре.

784. Очень мало изучен химически распространенный тип вод, играющих, по-видимому, большую роль в явлении выветривания, – *органогенных вод*.

На значение этих вод давно обращено особое внимание биологами, нашедшими здесь совершенно особые по фауне и флоре биоценозы – особые биотопы. К числу таких биотопов принадлежат водные скопления в дуплах деревьев нашего климата. Недавно – хотя и неполно – химически изучена одна из таких вод. Первый и пока единственный количественный анализ этой воды был сделан Э.Э. Карстенсом (1927) для воды дупла ясеня в окрестностях Пятигорска.

Этот раствор, как правильно указывает В. Рылов (1927), является «настойкой органических веществ». Аналогичные воды в биосфере должны наблюдаться временами в очень больших количествах; в подтропических и в тропических областях несомненно их роль должна быть очень велика и миграции химических элементов, но и в других областях биосферы она не может быть упускаема и должна быть изучена.

Очень важны полные анализы этих вод и количественный учет их массы.

785. Очень многочисленны *культурные воды* и среди них особое место занимают *рудничные воды*, образующиеся во время добычи руд помимо воли человека и – подобно тому как это имеет место для рудной деятельности человечества – далеко не безразличные для истории в земной коре большинства металлов.

Очень возможно, что роль человека в истории этих вод иногда очень ограничена и что мы здесь встречаемся в действительности с видами вод поверхностных и верховодок, в значительной части своего состава существующих помимо человека.

Провести бесспорную границу между этими генетически различными водами мы пока не можем.

Так же, как рудничные воды – воды каменноугольных копей происходят или непосредственно из метеорных вод или из верховодок.

786. *Подземные соленые воды.* В царстве подземных соленых вод подцарства аналогичны пресным водам (§ 550); однако, здесь для подцарства пластовых соленых вод удобно отделять воды стратисферы от вод биосферы. Даже если это сейчас представляет большие затруднения, – стремление к этому разделению необходимо, так как оно позволит точнее наблюдать явления и в конце концов отделить воды, в которых мы имеем большую примесь метеорных вод, – *пластовые воды биосферы от пластовых вод стратисферы*¹, где это влияние постепенно и быстро уменьшается.

Соленость пластовых вод увеличивается с глубиной; эти воды обладают в связи с этим более высокой температурой, чем пресные пластовые воды; они переходят в глубоких горизонтах в рассольные воды.

Из всех подцарств – пластовых, почвенных, подпочвенных и иловых, восходящих вод, вод подземных водовместилищ, волосных вод пород – наибольшее значение имеют или вернее более изучены воды пластовые и минеральные источники (восходящие). На них я, главным образом, здесь и остановлюсь.

Они же здесь достигают таких мощных проявлений, которые отсутствуют для пресных вод.

Волосные соленые воды пород как химически неизученные можно оставить в стороне. Они проникают массивные метаморфические и осадочные породы, должно быть богаты кремнеземом и имеют некоторые свойства коллоидальных вод. Не желая входить в область гипотез, хотя может быть и полезных в некоторых отношениях, я оставлю их здесь все же в стороне.

¹ Новые работы заставляют относить стратисферу к той земной оболочке, которая захвачена жизнью, к *биосфере*, отмечая в биосфере (сверху): стратосферу, тропосферу, гидросферу, кору выветривания, стратисферу. Стратисфера – область с резким преобладанием анаэробной жизни.

787. Трудность различения пластовых вод и *минеральных источников*, указанная уже для пресных вод, здесь еще более увеличивается.

Ибо благодаря, в общем, большей глубине, для большинства соленых пластовых вод не только повышается их температура, но чрезвычайно уменьшается влияние метеорных вод на их образование. В то же время для них повышается влияние подземных атмосфер – фреатических и ювенильных водных паров, которые в свою очередь характерны для водных жил – минеральных источников, и играют большую роль в их образовании.

Для этих вод в то же время ярко сказывается и влияние вмещающих их горных пород, на которые сильно химически действуют, переполненные газами, горячие соленые пластовые воды, к тому же находящиеся в областях высоких давлений.

Все это очень часто не позволяет точно разделить соленые минеральные источники и соленые пластовые воды. Часто должно быть наблюдаются их смешения, особенно резко выраженные в восходящих минеральных источниках, но существование их не исключается и для пластовых вод, которые восходящими водами пронизываются.

Как бы то ни было, сейчас здесь еще труднее, чем для акротерм, быть вполне уверенным в правильности чисел химического состава минеральных источников и пластовых вод.

Лишь тщательное дальнейшее изучение приведет к более точному различию и исправит цифры, приводимые в нижеследующих параграфах.

Необходимо провести тщательную проверку и внести поправки, так как многие из знаменитых даже «минеральных источников» являются напорными пластовыми водами, искусственный выход которых благодаря бурению создал минеральный источник. Житейское название не отвечает их подцарству.

788. Хотя я вернусь к вопросу о минеральных источниках во второй части книги, является необходимым вкратце остановиться здесь на соленых минеральных источниках, так как мне кажется, что новый минералогический охват химического состава природных вод, делаемый в этой книге, позволяет уточнить наше понимание минеральных источников и выдвинуть новые проблемы, которые не ставились.

В обычном изучении минеральных вод очень часто говорится об ювенильных и вадозных минеральных источниках. Я здесь нигде не употребляю этих терминов, ибо думаю, что они, кроме произвола и путаницы, ничего не вводят в наши знания. Точного критерия в различении вадозных и ювенильных источников нет.

Восходящие воды, водные жилы, минеральные источники явно могут быть двоякого происхождения: 1) связанные с магматическими очагами, отвечающие наиболее легко летучим их частям – парам воды и внутренним фумаролам, и 2) связанные с пластовыми водами, поднимающимися по трещинам и пустотам под влиянием газового или гидростатического давления.

По мере того как мы углубляемся дальше от поверхности геоида, температура повышается, и на глубине немногих километров, уже на 3–4 км, достигает температуры кипения чистой воды. Здесь исчезает возможность различения вод магматического происхождения и восходящих вод, связанных с водами пластовыми.

Огромное большинство природных минеральных источников не идет с этих глубин, но сейчас буровая техника все увеличивает принос вод с глубин от земной поверхности выше 3 км. Говоря о 3–4 км, я имею в виду уровень геоида, а не земной поверхности.

Если для акротерм связь с магматическими очагами во многих случаях весьма вероятна и может быть устанавливаема из геологической соображений (настоящие «ювенильные» источники), – это делается более затруднительным для соленых минеральных источников и не может быть установлено ни в одном случае для рассольных.

По мере углубления воды становятся более насыщенными и более *тяжелыми*, в то же время количество паров увеличивается, и характер глубоких пластовых вод должен меняться (§ 882) и приближаться по составу к магматическим водам. Среди соленых источников очень много (их число все увеличивается) буровых вод, которые дают понятие не о восходящих водах, а о более глубоких водах пластовых напорных и водах подземных водоемов.

Некоторая – большая может быть – часть и естественных соленых минеральных источников имеет такое происхождение, но какая, – мы не знаем.

Очень возможно, что глубокие магматические очаги и глубокие части этих вод не отделены от глубоких напорных вод.

789. Сейчас наиболее важны для нас точное описание явления и количественный учет, возможно углубленный, соленых минеральных вод.

К сожалению, это делается в настоящее время чрезвычайно недостаточно.

Для соленых минеральных источников прежде всего необходимо подчеркнуть недостаток точного определения растворенных газов. Вследствие этого очень трудно сейчас выяснить те *подклассы*, на которые они распадаются.

Нам известны пока следующие подклассы: 1) CO_2 , 2) N_2 , 3) $\text{CO}_2\text{-N}_2$, 4) $\text{O}_2\text{-N}_2$, 5) $\text{N}_2\text{-CO}_2$, 6) $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{S}$, 7) $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-H}_2\text{S}$, 8) $\text{N}_2\text{-CO}_2\text{-CH}_4$. Очевидно дальнейшее изучение увеличит значительно этот список.

Изучение растворимых газов – количественный их анализ – является сейчас настоятельной потребностью.

790. В основу деления можно положить господствующие компоненты, причем, подобно пресным акротермам, мы будем различать подсемейства: 1) заключающие Cl в числе господствующих элементов; 2) не заключающие в них хлора, но заключающие в них серу (SO_4^{2-} и HS^{1-}) и 3) не заключающие в них ни хлора, ни серы, но заключающие в них углерод (CO_3^{2-} и HCO_3^{1-}).

К первому подсемейству относятся следующие соленые минеральные воды:

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1. Cl – Na ¹ . | 10. O – Cl – Na – C – Ca. |
| 2. Cl – Ca? | 11. Cl – Na – O – C – S ⁵ . |
| 3. Cl – Na – Ca ² . | 12. O – S – Ca – Na – Cl. |
| 4. Cl – Na – Mg? | 13. O – C – Na – Cl – (B). |
| 5. O – Cl – Na – C ³ . | 14. Cl – O – S – Fe – Al – (H). |
| 6. O – Cl – Na – S ⁴ | 15. Cl – O – Na – Ca – S – C ⁶ . |
| 7. Cl – Na – O – Fe? | 16. Na – O – Cl – S – C – Si? |
| 8. Cl – Na – O – Fe – (S) | 17. O – Cl – C – Na – Ca – Mg. |
| 9. O – Cl – Na – S – Mg | 18. Cl – O – Na – Ca – S – C – Mg? |

- ¹ Есть переходы в пресные и рассолы. Есть разности, богатые Mg. Переход в (4). По де-Марины, источник Bains de la Reine около Орана содержит при 1,03% плотного остатка $6,0 \cdot 10^{-1}\%$ NaCl и $4,3 \cdot 10^{-1}\%$ MgCl₂ (А. Добрэ).
- ² Несомненны для пластовых вод. Для минеральных источников вероятны более бедные Ca разности.
- ³ Есть разности, богатые Mg [переход в (9)] и кальцием в (10).
- ⁴ Надо различать S в форме SH¹⁻ и S₂O₃ от S в форме SO₄²⁻. Между ними есть генетические переходы. Есть разности, богатые Mg, – переход в (9).
- ⁵ Надо различать разности S (предыдущий пример). Есть переход в (13 и 12).
- ⁶ Есть Mg разность – переход в (17).

В отличие от пресных вод, нельзя не отметить исчезновения среди господствующих компонентов – кремния и аммония. Может быть, это связано с тем, что их процентное содержание не может увеличиваться в мере, сравнимой с повышением процентов в других ионах: для кремния – в связи с коллоидальным характером содержащих его частиц, для NH₄ – в связи с условиями их концентрации, благодаря их распространенности в земной коре, или возмозной устойчивости и быстроте синтеза (аммоний).

791. Учитывая все вышесказанное, химический состав *соленых минеральных источников* сведен к двум формулам: Na – Cl¹ и G1 – Na – Ca², в следующих анализах, выраженных пределами колебаний компонентов (вес. %).

Na–Cl	Cl–Na–Ca ³
<i>Плотный остаток:</i>	
4,9–1,7 · 10 ⁻¹	4,9–4,2 · 10 ⁻²

¹ Есть воды подклассов, (вес. %):

1. CO ₂		2. H ₂ S–CO ₂ –N ₂		3. N ₂	
CO ₂	2,1 · 10 ⁻¹ –7,4 · 10 ⁻²	H ₂ S	2,9 · 10 ⁻² –2,9 · 10 ⁻⁴	N ₂	9,1 · 10 ⁻⁴
N ₂	2,1 · 10 ⁻³ –4,6 · 10 ⁻⁵	CO ₂	2,7 · 10 ⁻² –7,4 · 10 ⁻³	CH ₄	2,1 · 10 ⁻⁵
O ₂	3,7 · 10 ⁻⁴ –1,1 · 10 ⁻⁴	N ₂	9,4 · 10 ⁻³ –1,6 · 10 ⁻³	O ₂	1,3 · 10 ⁻⁵
		CH ₄	6,3 · 10 ⁻⁵	CO ₂	0

² Есть подклассы: (есть N₂–CO₂?)

1. CO ₂		2. CO ₂ –N ₂	
CO ₂	2,1 · 10 ⁻¹ –2,1 · 10 ⁻¹	CO ₂	3,7 · 10 ⁻² –1,4 · 10 ⁻³
N ₂	4,1 · 10 ⁻⁴	N ₂	5,6 · 10 ⁻³ –9,1 · 10 ⁻⁴
		O ₂	7,4 · 10 ⁻⁴ –2,4 · 10 ⁻⁶
		CH ₄	6,3 · 10 ⁻⁵ –2,1 · 10 ⁻⁵
3. CO ₂ –N ₂ –CH ₄		4. N ₂ –CO ₂ –H ₂ S?	
CO ₂	2,9 · 10 ⁻³	CO ₂	1,3 · 10 ⁻²
N ₂	1,5 · 10 ⁻³	N ₂	1,6 · 10 ⁻³
CH ₄	1,8 · 10 ⁻³	H ₂ S	2,9 · 10 ⁻⁴
		O ₂	2,5 · 10 ⁻⁴
		CH ₄	2,7 · 10 ⁻⁴

³ Богатые кальцием разности (возможны воды Cl–Ca, бедные Na– такие анализы есть) вероятно отвечают пластовым водам; они получаются при бурении. Так как эти воды обладают давлением, возможен и их естественные выходы. Лишь тщательное изучение конкретных случаев позволит решить вопрос и убедиться в принадлежности этих вод (всех или частью) к подцарству вод восходящих – семейству

Элементы:

Cl	$2,7-2,6 \cdot 10^{-2}$	Cl	$3,1-2,3 \cdot 10^{-1}$
Na	$1,7-1,6 \cdot 10^{-2}$	Na	$1,5-8,7 \cdot 10^{-2}$
		Ca	$1,5-4,5 \cdot 10^{-2}$
O ¹	$6,0 \cdot 10^{-1}-5,9 \cdot 10^{-4}$		
Ca	$4,2 \cdot 10^{-1}-5,3 \cdot 10^{-2}$	S ²	$6,5 \cdot 10^{-1}-4,6 \cdot 10^{-5}$
S ²	$1,5 \cdot 10^{-1}-1,2 \cdot 10^{-4}$	O	$5,5 \cdot 10^{-1}-4,4 \cdot 10^{-5}$
Mg	$1,3 \cdot 10^{-1}-2,9 \cdot 10^{-5}$	Mg	$2,4 \cdot 10^{-1}-1,1 \cdot 10^{-2}$
K	$1,0 \cdot 10^{-1}-1,0 \cdot 10^{-4}$		
C ³	$8,6 \cdot 10^{-2}-9,3 \cdot 10^{-5}$	K	$9,2 \cdot 10^{-2}-5,7 \cdot 10^{-4}$
H ⁴	$6,8 \cdot 10^{-2}-4,6 \cdot 10^{-6}$	C ⁵	$8,9 \cdot 10^{-2}-8,2 \cdot 10^{-4}$
Si	$4,3 \cdot 10^{-2}-1,9 \cdot 10^{-5}$	Br	$1,8 \cdot 10^{-2}-1,0 \cdot 10^{-4}$
Br	$2,5 \cdot 10^{-2}-3,0 \cdot 10^{-7}$	Fe	$1,6 \cdot 10^{-2}-3,0 \cdot 10^{-5}$
N ⁶	$2,0 \cdot 10^{-2}-4,5 \cdot 10^{-5}$		
Fe	$1,0 \cdot 10^{-2}-2,5 \cdot 10^{-5}$		
Sr	$9,0 \cdot 10^{-3}-7,2 \cdot 10^{-5}$	Al	$6,6 \cdot 10^{-3}-1,1 \cdot 10^{-5}$
B ⁷	$7,3 \cdot 10^{-3}-4,5 \cdot 10^{-5}$	Ba	$5,3 \cdot 10^{-3}-6,0 \cdot 10^{-4}$
Ba	$6,8 \cdot 10^{-3}-5,9 \cdot 10^{-7}$	Si	$5,0 \cdot 10^{-3}-1,1 \cdot 10^{-5}$
Al	$6,6 \cdot 10^{-3}-2,9 \cdot 10^{-8}$ (Сл.)	N ⁸	$3,3 \cdot 10^{-3}-1,9 \cdot 10^{-4}$
J	$6,6 \cdot 10^{-3}-1,1 \cdot 10^{-6}$	Li	$2,5 \cdot 10^{-3}-1,4 \cdot 10^{-5}$
Li	$6,0 \cdot 10^{-3}-2,8 \cdot 10^{-6}$	Zn	$1,2 \cdot 10^{-3}$
Fe	$5,2 \cdot 10^{-3}-5,0 \cdot 10^{-6}$		
As	$3,4 \cdot 10^{-3}-1,6 \cdot 10^{-6}$		
P	$1,2 \cdot 10^{-3}-6,4 \cdot 10^{-8}$		
Mn	$8,0 \cdot 10^{-4}-1,5 \cdot 10^{-5}$	Sr	$7,6 \cdot 10^{-4}-2,4 \cdot 10^{-5}$
Sb	$3,4 \cdot 10^{-4}$?	Mn	$6,6 \cdot 10^{-4}-2,6 \cdot 10^{-5}$
Zn	$6,1 \cdot 10^{-4}$ -сл.	H ⁹	$3,8 \cdot 10^{-4}-4,0 \cdot 10^{-5}$
		J	$2,1 \cdot 10^{-4}-8,0 \cdot 10^{-6}$
He	$5,0 \cdot 10^{-5}$	P	$2,5 \cdot 10^{-5}-1,4 \cdot 10^{-5}$
Cs	$5,0 \cdot 10^{-5}$	Rb	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Rb	$1,5 \cdot 10^{-5}-1,3 \cdot 10^{-5}$	Cs	$1,3 \cdot 10^{-5}$
Cr	$1,5 \cdot 10^{-5}$	As	$4,3 \cdot 10^{-5}-5,4 \cdot 10^{-6}$
Cu	$5,1 \cdot 10^{-6}$ -(Сл.)		
Ti	$3,4 \cdot 10^{-7}$ -(Сл.)		
Ra	$6,9 \cdot 10^{-11}-3,2 \cdot 10^{-12}$		
Rn	$6 \cdot 10^{-12}-3 \cdot 10^{-13}$	Ra	$9,7 \cdot 10^{-12}$
		Rn	$7,2 \cdot 10^{-15}$
Есть Pb, Sn, Ti, Ga, Ge, Bi		Есть В.	
Органические вещества		Органические вещества	
$4,8 \cdot 10^{-2}-2,5 \cdot 10^{-4}$		$6,5 \cdot 10^{-3}-4,0 \cdot 10^{-5}$	
Свободно выделяющиеся газы		Свободно выделяющиеся газы	
(объем. %)		(объем. %)	

	1. N ₂	2. N ₂ -O ₂		1. CO ₂		2. CO ₂ -N ₂	
N ₂	97,2-90,9 ¹⁰	N ₂	84,5 ¹⁰	CO ₂	96,2	CO ₂	75,8
CO ₂	6,2-4,0	O ₂	13,0	N ₂	3,8 ¹⁰	N ₂	24,21 ¹⁰
H ₂ S	2,4-1,2	CO ₂	2,5	O ₂	}	O ₂	}
O ₂	0-2,9			CH ₄	} сл.	CH ₄	} сл.
He	8,5 · 10 ⁻¹			H ₂ S]	H ₂ S]
Ar – есть							
H ₂ – есть							
				3. N ₂ -CO ₂		4. CH ₄	
				N ₂	86,7-61,5 ¹⁰	CH ₄	90,4
				CO ₂	38,5-13,3	N ₂	6,8 ¹⁰
				O ₂ -Сл.	0	CO ₂	2,8
				C _n H _m (Сл.)		O ₂	0
				5. CH ₄ -N ₂ -CO ₂		6. CH ₄ -N ₂	
				CH ₄	47,4	CH ₄	76,2-75,3
				N ₂	37,7 ¹⁰	N ₂	24,0-17,5 ¹⁰
				CO ₂	13,1	C ₂ H ₆	2,2-8,0 · 10 ⁻¹
				H ₂ S	2,2	O ₂	8,2 · 10 ⁻¹ (Сл.)
						H ₂ S	5 · 10 ⁻²
						CO ₂	4 · 10 ⁻¹ (Сл.)
						Благородные газы	
						-3 · 10 ⁻	
						7. CO ₂ -N ₂	
						CO ₂	85,5
						N ₂	13,4 ¹⁰

¹ Из CO₃²⁻ (до 5,4 · 10⁻³%), SO₄²⁻ (до 4,5 · 10⁻¹⁰%), HCO₃¹⁻ (до 2,0 · 10⁻¹⁰%), SiO₂ (до 6,4 · 10⁻³%), CO₂ (до 1,2 · 10⁻¹⁰%).

² Из SO₄²⁻, S₂O₃¹⁻. Органическое вещество не учтено.

³ HCO₃¹⁻, CO₂, органическое вещество.

⁴ HCO₃¹⁻, H₂ (до 6,4 · 10⁻³%).

⁵ CO₃²⁻.

⁶ Из NO₃¹⁻ растворенный N₂ (до 4,6 · 10³%), NH₄¹⁺ (до 8,3 · 10⁻⁴%).

⁷ B₄O₇²⁻.

⁸ NH₄¹⁺, растворенный N₂ (до 3,3 · 10⁻³%).

⁹ H₄²⁺, HCO₃¹⁻, H₂SiO₃, H₂S, HS¹⁻. Органическое вещество не учтено.

¹⁰ Благородные газы не отделены.

792. Для воды минеральных источников формулы Cl – Na – O – C – S, богатых Cl–Na, надо, как указано (§ 703), различать две воды: с ионами S²⁻ (?), HS¹⁻ (или S₂O₃²⁻) и SO₄²⁻, часто, но, по-видимому, не всегда генетически связанные. Это богатые Na – Cl (I) источники пиренейского типа (§ 705). Сюда относится Карлсбадский источник (II), более соленый и богатый SO₄²⁻, чем большинство других сюда относящихся.

Следующие данные дают понятие о химическом составе (вес %)

I	II
O – Cl – Na – C – Ca ¹	Cl – Na – O – C – S ²
<i>Плотный остаток³</i>	
$5,2 \cdot 10^{-1}$ – $1,6 \cdot 10^{-1}$	$6,3 \cdot 10^{-1}$ – $1,1 \cdot 10^{-1}$

Элементы:

Cl	$1,9 \cdot 10^{-1}$ – $4,6 \cdot 10^{-2}$	O ⁴	$1,1 \cdot 10^{-1}$ – $3,1 \cdot 10^{-2}$
Na	$1,5 \cdot 10^{-1}$ – $2,8 \cdot 10^{-2}$	Cl	$1,6 \cdot 10^{-1}$ – $3,3 \cdot 10^{-2}$
O ⁵	$1,4 \cdot 10^{-1}$ – $4,5 \cdot 10^{-2}$	Na	$1,6 \cdot 10^{-1}$ – $3,4 \cdot 10^{-2}$
C ⁶	$2,9 \cdot 10^{-2}$ – $1,1 \cdot 10^{-2}$	S ⁷	$9,2 \cdot 10^{-2}$ – $7,2 \cdot 10^{-3}$
Ca	$1,5 \cdot 10^{-2}$ – $1,5 \cdot 10^{-2}$	C ⁸	$7,0 \cdot 10^{-2}$ – $3,8 \cdot 10^{-3}$
		Ca	$4,7 \cdot 10^{-2}$ – $1,4 \cdot 10^{-3}$
		K	$1,0 \cdot 10^{-2}$ – $6,0 \cdot 10^{-4}$
K	$4,1 \cdot 10^{-3}$ – $1,5 \cdot 10^{-3}$	Si	$3,4 \cdot 10^{-3}$ – $1,1 \cdot 10^{-3}$
N ⁹	$3,2 \cdot 10^{-3}$	P	$2,8 \cdot 10^{-3}$ – $9,2 \cdot 10^{-6}$
S ¹⁰	$2,1 \cdot 10^{-3}$ – $1,8 \cdot 10^{-3}$	H ¹¹	$2,7 \cdot 10^{-3}$ – $1,2 \cdot 10^{-3}$
Si	$1,5 \cdot 10^{-3}$ – $5,7 \cdot 10^{-4}$	Mg	$6,0 \cdot 10^{-3}$ – $6,5 \cdot 10^{-5}$ (сл.)
H	$1,2 \cdot 10^{-3}$ – $8,6 \cdot 10^{-4}$	N ¹²	$1,6 \cdot 10^{-3}$
Mg	$1,2 \cdot 10^{-3}$ – $5,1 \cdot 10^{-4}$		
Fe	$5,3 \cdot 10^{-4}$ – $1,4 \cdot 10^{-5}$	Fe ¹³	$4,4 \cdot 10^{-4}$ – $1,0 \cdot 10^{-4}$ (сл.)
Al	$3,1 \cdot 10^{-4}$ – $4,8 \cdot 10^{-5}$	Br	$4,7 \cdot 10^{-4}$ – $1,6 \cdot 10^{-4}$
		Li	$2,8 \cdot 10^{-4}$ – $1,8 \cdot 10^{-4}$
		F	$2,3 \cdot 10^{-4}$
Mn	$4,9 \cdot 10^{-5}$	B	$4,5 \cdot 10^{-5}$ – $2,4 \cdot 10^{-5}$
		J	$4,5 \cdot 10^{-5}$ –сл.
		Al ¹³	$4,5 \cdot 10^{-5}$ – $1,6 \cdot 10^{-5}$
		Sr	$2,4 \cdot 10^{-5}$ – $1,3 \cdot 10^{-5}$
		Mn	$9,6 \cdot 10^{-5}$
		Ra	$5,4 \cdot 10^{-12}$ – $3,5 \cdot 10^{-12}$
		Rn	$2 \cdot 10^{-16}$

Есть Cs, Rb, Cu, Pb, Mn, Ag, Be, Ge

Есть NH₄, Cs, Rb, As, Sb, Zn, Pb, Ba, B, Cu, Nb, Tl, Y, Zn, As, Ga, Ge, S, Sn, Dy, Ho, Tl, Yt, Hf
Есть органические вещества

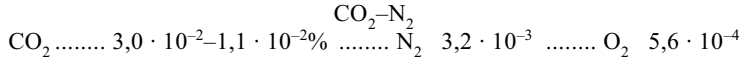
Свободно выделяющиеся газы (объемн. %)

Свободно выделяющиеся газы (объемн. %)

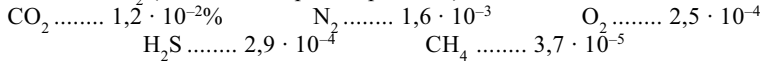
	1. N ₂		1. CO ₂		2. CO ₂ –N ₂
N ₂	90,3–90,1	CO ₂	98,7–93,7	CO ₂	83,0
O ₂	7,0–6,9	N ₂	4,6–1,1	N ₂	16,8
CO ₂	3,0–2,8	H ₂ S	1,6–0	O ₂	$2,0 \cdot 10^{-1}$
		O ₂	$3,6 \cdot 10^{-1}$ – $7,0 \cdot 10^{-2}$	H ₂ S	$2,0 \cdot 10^{-1}$
			3. N ₂		
		N ₂	93,4		

CH ₄	1,8
CO ₂	4,0 · 10 ⁻¹
O ₂	3,7 · 10 ⁻¹
H ₂ S	6,0 · 10 ⁻²

¹ Есть углекислотный подкласс



² Есть углекислые: CO₂ (Аахен для сероводородного)



³ Для некоторых из этих вод, например для Карлсбада, имеются многочисленные количественные данные, их характеризующие. Например, для Карлсбада: уд. в. – 1,00527 (Мюльбруннен), 1,00514 (Шпрудель). Диссоциации 96,9% (по В. Цейнер) понижение точки замерзания: Шпрудель ... 0,307, Мюльбруннен ... 0,293, электрическая проводимость = 74,10⁻⁴Ω (при 27 °С).

⁴ Из S₂O₃²⁻ (до 1,6 · 10⁻³%), SO₄²⁻ (до 2,7 · 10⁻¹), HCO₃¹⁻ (до 1,0 · 10⁻¹), CO₃²⁻ (1,7 · 10⁻¹), SiO₃²⁻ (до 8,3 · 10⁻³), O₂ (до 2,5 · 10⁻⁴), BO₂ (до 3,4 · 10⁻⁴), CO₂ (до 1,9 · 10⁻³%). Органическое вещество не учтено.

⁵ Из HCO₃¹⁻ (до 5,5 · 10⁻²), CO₂ (до 3,0 · 10⁻²), SO₄²⁻ (до 6,3 · 10⁻³), SiO₃²⁻ (до 2,0 · 10⁻³), O₂ (до 5,6 · 10⁻⁴).

⁶ HCO₃¹⁻, CO₂.

⁷ Из S₂O₃²⁻ SO₄²⁻ иона S²⁻ (до 3,6 · 10⁻³%), HS¹⁻ (до 1,9 · 10⁻³%), H₂S (до 1,1 · 10⁻²%). Органическое вещество не учтено.

⁸ Из HCO₃¹⁻, CO₂.

⁹ Из N₂.

¹⁰ Из SO₄²⁻.

¹¹ Из HCO₃¹⁻, H₂S.

¹² Из N₂.

¹³ Fe вероятно дойдет до декады 10⁻³, а Al до 10⁻⁴%.

793. Из числа *соленых* Cl–Na вод надо отметить воды, связанные в своем происхождении с *морской водой* – донной и иловой. Это воды, обычно сосредоточенные в стратифере, которые в огромном большинстве случаев окажутся водами пластовыми.

Но, по-видимому, такие воды могут по условиям своего создания быть во многих случаях относимы к термальным источникам, принимать более высокую температуру и выходить в капельножидкое состояние, характеризующее восходящие воды в отличие их от пленочно-капельножидкой структуры пластовых вод. Во время начинающегося процесса метаморфизации проникающие морские осадки донные и иловые морские воды могут и должны выделяться, выпираться давлением и двигаться под влиянием напора газов, их проникающих (главным образом CO₂) благодаря идущему в среде метаморфизации повышению температуры в те пустоты (трещины и т.п.), которые неизбежно образуются в тектонически нарушаемых участках земной коры. Образуются особые *водные жилы*, т.е. минеральные источники, которые как бы выдавливаются из окружающей породы. Воды терм этого рода резко отличаются от ювенильных или фреатических источников, связанных с перегонкой воды застывающих магматических очагов. Они, вероятно, очень распространены в стратифере и являются одной из частей общего механизма метаморфизации – механизма, совершенно неизученного.

794. Следующее подсемейство образуют минеральные соленые источники, *несодержащие хлора* в числе господствующих компонентов, но содержащие *серу* в виде ионов SO_4^{2-} , $-\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, HS^{-} .

Сюда принадлежат следующие виды вод минеральных источников (располагаю их по числу характерных компонентов):

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 19. O – Na – S – есть переход в (6) | 30. O – Ca – S – N |
| 20. O – S – Ca – есть переход (12) | 31. O – C – Fe – S |
| 21. O – S – Al | 32. O – S – N – B – H |
| 22. O – S – Fe | 33. O – Na – Ca – C – S |
| 23. O – S – Na – Mg | 34. O – H – Ca – Fe – S |
| 24. O – Ca – S – Mg | 35. O – S – Na – Ca – Al |
| 25. O – S – N – H | 36. O – S – Al – Ca – Fe |
| 26. O – S – (Al) – (H) | 37. O – C – S – Mg – Ca – есть переход в (38) |
| 27. O – S – (Al) – Si? | 38. O – S – Mg – Na – Ca – Fe |
| 28. O – Na – C – (S)? | 39. O – C – S – Mg – Ca – Na? |
| 29. O – C – Ca – S | |

795. Следующие числа дают понятие о составе этих вод (вес %):

	O – Na – S		O – S – Ca ¹
	<i>Плотный остаток:</i>		
	1,2–1,2 · 10 ⁻¹		2,7 · 10 ⁻¹ –1,3 · 10 ⁻¹
O ²	6,7 · 10 ⁻¹ –4,7 · 10 ⁻⁹	O ³	1,7 · 10 ⁻¹ –7,7 · 10 ⁻²
Na	3,3 · 10 ⁻¹ –2,0 · 10 ⁻³		
S ⁴	2,5 · 10 ⁻¹ –1,4 · 10 ⁻³		
Ca	5,8 · 10 ⁻² –2,2 · 10 ⁻³	S ⁵	9,5 · 10 ⁻² –3,2 · 10 ⁻²
O ⁶	4,5 · 10 ⁻² –1,2 · 10 ⁻³	Ca	7,3 · 10 ⁻² –2,3 · 10 ⁻⁴
Mg	4,8 · 10 ⁻² –7,8 · 10 ⁻⁴	Na	3,6 · 10 ⁻² –1,6 · 10 ⁻⁴
Cl	4,3 · 10 ⁻² –1,0 · 10 ⁻⁴	C ⁶	3,2 · 10 ⁻² –6,5 · 10 ⁻⁴
Si ⁷	2,1 · 10 ⁻² –1,4 · 10 ⁻⁴	Cl	2,4 · 10 ⁻² –4,2 · 10 ⁻⁴ (сл.)
		Mg	1,5 · 10 ⁻² –6,0 · 10 ⁻⁴
K	7,5 · 10 ⁻³ –1,6 · 10 ⁻⁴	Al	6,6 · 10 ⁻³ –4,2 · 10 ⁻⁵ (сл.)
Al	4,6 · 10 ⁻³ –1,0 · 10 ⁻⁴	Fe	3,0 · 10 ⁻³ –2,6 · 10 ⁻⁵ (сл.)
H ⁸	3,7 · 10 ⁻³ –9,0 · 10 ⁻⁵	Si ¹⁰	2,4 · 10 ⁻³ –1,9 · 10 ⁻⁴
Fe	3,0 · 10 ⁻³ –3,9 · 10 ⁻⁶	K	1,3 · 10 ⁻³ –1,7 · 10 ⁻⁴
Li	1,1 · 10 ⁻³ –1,3 · 10 ⁻⁵	H ¹¹	1,1 · 10 ⁻³ –1,1 · 10 ⁻⁵
N ⁹	1,0 · 10 ⁻³ –?		
Mn	9,5 · 10 ⁻⁴ –5,0 · 10 ⁻⁵	Sr	8,4 · 10 ⁻⁴ –1,0 · 10 ⁻⁴
B ¹²	7,3 · 10 ⁻⁴	Br	1,9 · 10 ⁻⁴ –2,4 · 10 ⁻⁵
Sr	5,7 · 10 ⁻⁴	N ¹³	1,8 · 10 ⁻⁴ –3,9 · 10 ⁻⁵
As ¹⁴	2,4 · 10 ⁻⁴	B	1,3 · 10 ⁻⁴ –1,3 · 10 ⁻⁵
F	1,6 · 10 ⁻⁴ ?		
Br	1,2 · 10 ⁻⁴		
J	6,2 · 10 ⁻⁵	Li	3,1 · 10 ⁻⁵ –6,0 · 10 ⁻⁶
P	1,8 · 10 ⁻⁵	Mn	2,9 · 10 ⁻⁵ –2,0 · 10 ⁻⁶
		P	1,1 · 10 ⁻⁵ –1,5 · 10 ⁻⁶

Rb	$8,0 \cdot 10^{-6}$	As	$4,2 \cdot 10^{-6}$ – $4,1 \cdot 10^{-6}$
		J	$3,3 \cdot 10^{-6}$ – $1,8 \cdot 10^{-6}$
		Rn	$1,4 \cdot 10^{-12}$ – $8,0 \cdot 10^{-13}$

Есть Ba, NH₄, P

Органическое вещество $1,3 \cdot 10^{-2}$

Свободно выделяющиеся газы

(объемн. %)

1. N₂–CO₂

N ₂	87,0
CO ₂	13,1

¹ Может быть есть переход в Ca – S – O – Na – Cl. Есть натровые разности.

² SO₄²⁻ ($7,3 \cdot 10^{-1}$ %), HCO₃¹⁻ (до $2,0 \cdot 10^{-1}$ %), SiO₂ (до $4,4 \cdot 10^{-2}$ %), CO₂ (до $2,2 \cdot 10^{-2}$ %), B₄O₇²⁻ (до $2,6 \cdot 10^{-3}$ %), AsO₄³⁻ (до $4,4 \cdot 10^{-4}$ %), органическое вещество (до $4,0 \cdot 10^{-2}$ %), NO₃¹⁻ ($1,1 \cdot 10^{-4}$ %), PO₄³⁻ (до $5,4 \cdot 10^{-5}$ %).

³ SO₄²⁻ (до $1,3 \cdot 10^{-1}$ %), HCO₃¹⁻ (до $6,8 \cdot 10^{-2}$ %), SiO₂ (до $3,1 \cdot 10^{-3}$ %), CO₂ (до $2,5 \cdot 10^{-2}$ %), CO₂² (до $1,2 \cdot 10^{-1}$ %), NO₃¹⁻ (до $6,8 \cdot 10^{-4}$ %).

⁴ Из SO₄²⁻, H₂S (до $2,6 \cdot 10^{-3}$ %), HS¹⁻ (до $6,8 \cdot 10^{-3}$ %), SO₄²⁻ (до $2,2 \cdot 10^{-3}$ %).

⁵ Из SO₄²⁻, H₂S (до $2,5 \cdot 10^{-3}$ %), HS¹⁻ (до $3,5 \cdot 10^{-3}$ %).

⁶ Из HCO₃¹⁻, свободный CO₂.

⁷ Из SiO₂.

⁸ Из HCO₃¹⁻, H₂S, HS¹⁻ органическое вещество NH₄¹⁺ до $(1,3 \cdot 10^{-4})$.

⁹ Из NH₄¹⁺, органического вещества NO₃¹⁻. Азот газообразный не принят во внимание. Повысит коэффициент.

¹⁰ Из SiO₂.

¹¹ Из NH₄¹⁺ (до $1,3 \cdot 10^{-4}$ %), H₂S, HCO₃¹⁻, HS¹⁻.

¹² Из B₄O₇²⁻.

¹³ NH₄¹⁺ и NO₃¹⁻. Газообразный азот не учтен. Он передвинет азот в декаду 10^{-3} %.

¹⁴ AsO₄³⁻.

796. Следующие воды – более сложные, четырьмя господствующими компонентами.

Таковы (вес. %):

O – S – Na – Mg¹

O – Ca – S – Mg

Плотный остаток:

$4,2$ – $4,4 \cdot 10^{-1}$

$3,7 \cdot 10^{-1}$ – $1,3 \cdot 10^{-1}$

Элементы:

O ²	$2,8$ – $1,5 \cdot 10^{-1}$		
S ³	$1,3$ – $3,2 \cdot 10^{-1}$		
Na	$8,2 \cdot 10^{-1}$ – $5,5 \cdot 10^{-2}$	O ⁴	$2,3 \cdot 10^{-1}$ – $7,5 \cdot 10^{-2}$
Mg	$5,4 \cdot 10^{-1}$ – $4,4 \cdot 10^{-2}$		
Cl	$1,8 \cdot 10^{-1}$ – $1,0 \cdot 10^{-2}$		
N	$6,7 \cdot 10^{-2}$	Ca	$6,6 \cdot 10^{-2}$ – $1,9 \cdot 10^{-2}$
Ca	$4,6 \cdot 10^{-2}$ – $1,4 \cdot 10^{-2}$	S ⁵	$5,8 \cdot 10^{-2}$ – $3,2 \cdot 10^{-2}$
C ⁶	$3,4 \cdot 10^{-2}$ – $4,8 \cdot 10^{-3}$	Mg	$1,7 \cdot 10^{-2}$ – $3,2 \cdot 10^{-3}$
K	$2,4 \cdot 10^{-2}$ – $3,4 \cdot 10^{-4}$	C ⁷	$1,7 \cdot 10^{-2}$ – $6,8 \cdot 10^{-3}$
		Cl	$1,0 \cdot 10^{-2}$ – $9,4 \cdot 10^{-4}$

Fe	$6,2 \cdot 10^{-3} - 2,0 \cdot 10^{-5}$	Na	$9,9 \cdot 10^{-3} - 3,9 \cdot 10^{-4}$
Si ⁸	$5,5 \cdot 10^{-3} - 5,2 \cdot 10^{-5}$	K	$2,7 \cdot 10^{-3} - 4,5 \cdot 10^{-4}$
Li	$2,5 \cdot 10^{-3} - ?$	N ⁹	$2,0 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3}$
H ¹⁰	$1,9 \cdot 10^{-3} - 3,1 \cdot 10^{-4}$	Si	$1,9 \cdot 10^{-3} - 5,6 \cdot 10^{-4}$
Al	$1,3 \cdot 10^{-3} - 7,2 \cdot 10^{-5}$		
P	$7,8 \cdot 10^{-4} - 6,5 \cdot 10^{-6}$	H ¹¹	$8,7 \cdot 10^{-4} - 2,2 \cdot 10^{-5}$
Be	$6,6 \cdot 10^{-4} - ?$	Sr	$6,0 \cdot 10^{-4}$
Mn	$6,4 \cdot 10^{-4}$	Al	$1,4 \cdot 10^{-4} - 3,4 \cdot 10^{-5}$
J	$4,6 \cdot 10^{-4} - 5,0 \cdot 10^{-5}$		
		Fe	$5,2 \cdot 10^{-5} - 1,3 \cdot 10^{-5}$
		Li	$2,5 \cdot 10^{-5} - 2,1 \cdot 10^{-6}$
		Be	$2,4 \cdot 10^{-5}$
		B	$1,8 \cdot 10^{-5}$
		P	$6,2 \cdot 10^{-6}$
		J	$3,3 \cdot 10^{-6}$
		Mn	$2,0 \cdot 10^{-6}$
		Rn	$6,6 \cdot 10^{-17} - 1,1 \cdot 10^{-17}$

¹ Есть разности, более богатые или Mg или Na, т.е. O-S-Na-Mg и O-S-Mg-Na. Иногда *кальция* много.

² SO₄²⁻ (до 2,0%), HCO₃¹⁻ (до $1,1 \cdot 10^{-1}$ %), свободная CO₂ (до $3,9 \cdot 10^{-2}$ %), SiO₂ (до $5,6 \cdot 10^{-3}$ %), PO₄³⁻ (до $2,4 \cdot 10^{-3}$ %), NO₃¹⁻ (до $2,9 \cdot 10^{-1}$ %).

³ Из SO₄²⁻.

⁴ Из SO₄²⁻ (до $1,5 \cdot 10^{-1}$ %), CO₃²⁻ (до $5,5 \cdot 10^{-2}$ %) свободный CO₂ (до $3,7 \cdot 10^{-4}$ %), S₂O₃²⁻ (до $2,3 \cdot 10^{-4}$ %), SiO₂ (до $1,9 \cdot 10^{-3}$ %).

⁵ Из SO₄²⁻, H₂S (до $7,9 \cdot 10^{-3}$ %), S₂O₃²⁻ (до $8,0 \cdot 10^{-4}$ %).

⁶ Из HCO₃¹⁻, CO₂. Органическое вещество не учтено.

⁷ Из CO₃²⁻, CO₂, CH₄.

⁸ Из SiO₂.

⁹ Неполное определение. Порядок не изменится.

¹⁰ Из HCO₃¹⁻. Органическое вещество не учтено.

¹¹ Из H₂S, CH₄.

797. *Третье подсемейство* не имеет в господствующем комплексе компонентов ни хлора, ни серы.

Сюда относятся следующие воды минеральных источников:

40 ¹	O - C - Na ² .	45.	O - C - Na - Mg?
41 ³	O - C - Ca ⁴ .	46.	O - C - Ca - Fe?
42.	O - C - Mg - есть переходы в (45).	47.	O - C - Fe - Na.
43.	O - C - Na - Ca.	48.	O - C - Ca - Mg - Na?
44.	O - C - Ca - Mg - есть переходы в (47 и 32).		

¹ Есть переходы в пресные воды и в рассолы.

² Есть переходы в Na - Ca - SO₄ - CO₃ и в богатые магнием разности: O - C - Na - Mg.

³ Есть переходы в пресные воды.

⁴ Есть разности, богатые *железом*: O - C - Ca - Fe,

798. Следующие числа дают понятие о составе этих вод (вес. %).

O – C – Na ¹		O – C – Ca ²	
<i>Плотный остаток:</i>			
1,2–1,2 · 10 ⁻¹		6,4 · 10 ⁻¹ –1,1 · 10 ⁻¹	
<i>Элементы:</i>			
O ³	9,6 · 10 ⁻¹ –2,6 · 10 ⁻²	O ⁴	6,9 · 10 ⁻¹ –4,2 · 10 ⁻²
C ⁵	3,0 · 10 ⁻¹ –1,1 · 10 ⁻²	C ⁵	11,1 · 10 ⁻¹ –3,1 · 10 ⁻²
Na	2,6 · 10 ⁻¹ –1,7 · 10 ⁻²		
Mg	9,6 · 10 ⁻² –1,7 · 10 ⁻⁴	Ca	9,4 · 10 ⁻² –7,5 · 10 ⁻³
Cl	6,9 · 10 ⁻² –1,0 · 10 ⁻³	Fe	6,7 · 10 ⁻² –1,3 · 10 ⁻⁴
S ⁶	6,5 · 10 ⁻² –2,2 · 10 ⁻⁴	Na	6,2 · 10 ⁻² –1,1 · 10 ⁻³
Ca	5,5 · 10 ⁻² –4,0 · 10 ⁻⁴	Cl	3,8 · 10 ⁻² –1,0 · 10 ⁻⁴
K	2,9 · 10 ⁻² –1,4 · 10 ⁻⁴	S ⁷	3,0 · 10 ⁻² –1,3 · 10 ⁻⁵
N ⁸	1,5 · 10 ⁻² –3,9 · 10 ⁻⁵	Mg	2,3 · 10 ⁻² –2,0 · 10 ⁻³
H ⁹	1,3 · 10 ⁻² –1,6 · 10 ⁻⁵		
Sr	1,3 · 10 ⁻² –3,8 · 10 ⁻⁶ (0)		
Si ¹⁰	7,4 · 10 ⁻³ –4,1 · 10 ⁻⁵	K	8,5 · 10 ⁻³ –5,0 · 10 ⁻⁵
Li	5,8 · 10 ⁻³ –1,6 · 10 ⁻⁵	H ¹¹	7,6 · 10 ⁻³ –1,1 · 10 ⁻⁴
B ¹²	4,2 · 10 ⁻³ –9,3 · 10 ⁻⁶	Si	4,9 · 10 ⁻³ –3,8 · 10 ⁻⁴
Fe	5,0 · 10 ⁻³ –4,0 · 10 ⁻⁶ (0)	Al	1,8 · 10 ⁻³ –2,0 · 10 ⁻⁶
P ¹³	2,9 · 10 ⁻³ –1,2 · 10 ⁻⁶	B ¹²	1,9 · 10 ⁻³ –7,6 · 10 ⁻⁶
F	1,9 · 10 ⁻³ –7,0 · 10 ⁻⁶	Sr	1,5 · 10 ⁻³ –2,6 · 10 ⁻⁶
Al	1,6 · 10 ⁻³ –2,0 · 10 ⁻⁶ (0)	N ¹⁴	1,2 · 10 ⁻³ –2,8 · 10 ⁻⁶
J	1,3 · 10 ⁻³ –6,0 · 10 ⁻⁷	P ¹⁵	1,1 · 10 ⁻³ –1,5 · 10 ⁻⁶
		Mn	1,9 · 10 ⁻³ –2,7 · 10 ⁻⁵
Mn	4,6 · 10 ⁻⁴ –3,0 · 10 ⁻⁶	Li	2,3 · 10 ⁻⁴ –4,0 · 10 ⁻⁶
As	3,0 · 10 ⁻⁴ –1,6 · 10 ⁻⁶	Cu	1,0 · 10 ⁻⁴ –0
Ba	2,3 · 10 ⁻⁴ –4,0 · 10 ⁻⁷		
Br	1,5 · 10 ⁻⁴ –3,9 · 10 ⁻⁶		
Pb	1,3 · 10 ⁻⁴ –1,0 · 10 ⁻⁶		
Zn	3,4 · 10 ⁻⁵ –1,6 · 10 ⁻⁶	Br	7,0 · 10 ⁻⁵ –3,0 · 10 ⁻⁵
		Ti	6,3 · 10 ⁻⁵ –?
		J	2,0 · 10 ⁻⁵ –3,4 · 10 ⁻⁷
		Se	2,0 · 10 ⁻⁵
		Ba	1,2 · 10 ⁻⁵ –8,6 · 10 ⁻⁷
Cu	2,0 · 10 ⁻⁶		
Ti	6,8 · 10 ⁻⁷		
Ge	1,7 · 10 ⁻⁸ –сл.		
Ra	4,8 · 10 ⁻¹² –0		
Rn	1,5 · 10 ⁻¹¹ –8,4 · 10 ⁻¹⁷	Rn	6,1 · 10 ⁻¹⁶ –2,2 · 10 ⁻¹⁴

Есть Th, Ti, Rb, Co, Ni p.s.
(Боржоми?) Sn, Bi, Mo, Tb, V,
Ga, W, Be, Cs.

Есть As, Rb, Sn.

Органические вещества
 $6,7 \cdot 10^{-3}$ – $6,7 \cdot 10^{-4}$
Fe в органических веществах
 $6,0 \cdot 10^{-5}$

Органические вещества
 $2,4 \cdot 10^{-3}$ – $1,2 \cdot 10^{-2}$
Гумус. $2,2 \cdot 10^{-3}$ – $2,4 \cdot 10^{-5}$
Смолы. $7,2 \cdot 10^{-4}$ – $2,0 \cdot 10^{-5}$

Свободно выделяющиеся
газы (объемн. %)

Свободно выделяющиеся
газы (объемн. %)

1. CO₂
CO₂ 99,7–94,9
N₂ $4,2$ – $3,0 \cdot 10^{-1}$
O₂ $9,0 \cdot 10^{-1}$ – $6,0 \cdot 10^{-1}$

1. CO₂
CO₂ 99,6
N₂ $4,0 \cdot 10^{-2}$
O₂ 1,7

Благородные газы – следы

2. N₂
N₂ 99,6
H₂ $4,4 \cdot 10^{-1}$
O₂ 0
CO₂ 0

2. CO₂–N₂
CO₂ 80,8
N₂ 15,2
O₂ 4,0

¹ Есть подклассы: 1. CO₂–N₃

CO₂ $2,8 \cdot 10^{-1}$
N₂ $1,5 \cdot 10^{-2}$

2. CO₂

CO₂ $2,3 \cdot 10^{-1}$ – $2,6 \cdot 10^{-1}$
H₂S $3,3 \cdot 10^{-4}$
N₂?

² Есть углекислые подклассы: CO₂

CO₂ $2,9 \cdot 10^{-1}$ – $1,4 \cdot 10^{-1}$
N₂ $1,1 \cdot 10^{-3}$ – $4,0 \cdot 10^{-5}$
O₂ $8,0 \cdot 10^{-5}$ – $1,0 \cdot 10^{-5}$

³ N₃ HCO₃¹⁻ (до $7,4 \cdot 10^{-1}$ %), свободная CO₂ (до $6,9 \cdot 10^{-1}$ %), SO₄²⁻ (до $1,9 \cdot 10^{-1}$ %), B₄O₇²⁻ (до $1,5 \cdot 10^{-2}$ %), органическое вещество (до $1,5 \cdot 10^{-2}$ %), PO₄³⁻ (до $8,8 \cdot 10^{-3}$ %), NO₃¹⁻ (до $1,1 \cdot 10^{-3}$ %), AsO₄³⁻ (до $5,5 \cdot 10^{-4}$ %), CO₂ (до $2,4 \cdot 10^{-4}$ %), SiO₂ (до $1,5 \cdot 10^{-2}$ %).

⁴ Из HCO₃¹⁻ (до $4,6 \cdot 10^{-1}$ %), CO₂ (до $2,9 \cdot 10^{-1}$ %), SO₄²⁻ (до $5,1 \cdot 10^{-2}$ %), SiO₂ (до $1,1 \cdot 10^{-2}$ %), B₄O₇²⁻ (до $5,7 \cdot 10^{-3}$ %), NO₃¹⁻ (до $3,4 \cdot 10^{-3}$ %), органическое вещество (до $4,0 \cdot 10^{-3}$ %), S₂O₃²⁻ (до $1,4 \cdot 10^{-4}$ %), TiO₂ (до $1,1 \cdot 10^{-4}$ %).

⁵ Из HCO₃¹⁻, свободной CO₂, органического вещества.

⁶ Из SO₄²⁻. Органическое вещество, H₂S (до $4,8 \cdot 10^{-3}$ %).

⁷ Из SO₄²⁻. H₂S (до $3,9 \cdot 10^{-4}$ %), органического вещества.

⁸ Из N₂ (до $1,5 \cdot 10^{-2}$ %), NH₄¹⁺ (до $2,1 \cdot 10^{-4}$ %).

⁹ Из HCO₃¹⁻, органические вещества H₂S (до $2,6 \cdot 10^{-4}$ %), NH₄.

¹⁰ Из SiO₂.

¹¹ Из HCO₃¹⁻, органических веществ, H₂S, NH₄¹⁺ (до $5,6 \cdot 10^{-4}$ %).

¹² Из B₄O₇²⁻.

¹³ Из PO₄³⁻.

¹⁴ Из NO₃¹⁻, органических веществ, NH₄¹⁺, растворимый азот (до $1,1 \cdot 10^{-3}$ %).

799. Следующие числа (вес. %) дают понятие о составе воды O – C – Mg и более сложной O – C – Na – Ca:

O–C–Mg		O–C–Na–Ca ¹	
<i>Плотный остаток:</i>			
$7,8 \cdot 10^{-1}$ – $1,9 \cdot 10^{-1}$		$5,1 \cdot 10^{-1}$ – $1,2 \cdot 10^{-1}$	
<i>Элементы:</i>			
O ²	$6,4 \cdot 10^{-1}$ – $1,2 \cdot 10^{-1}$	O ³	$4,2 \cdot 10^{-1}$ – $7,1 \cdot 10^{-2}$
C ⁴	$1,7 \cdot 10^{-1}$ – $2,8 \cdot 10^{-2}$	C ⁴	$1,2 \cdot 10^{-1}$ – $1,7 \cdot 10^{-2}$
Mg	$1,2 \cdot 10^{-1}$ – $2,1 \cdot 10^{-2}$		
Cl	$3,5 \cdot 10^{-2}$ – $5,2 \cdot 10^{-3}$	Na	$7,3 \cdot 10^{-2}$ – $1,2 \cdot 10^{-2}$
Na	$2,9 \cdot 10^{-2}$ – $5,2 \cdot 10^{-3}$	Ca	$6,5 \cdot 10^{-2}$ – $1,2 \cdot 10^{-2}$
Ca	$1,7 \cdot 10^{-2}$ – $5,6 \cdot 10^{-3}$	Cl	$6,6 \cdot 10^{-2}$ – $6,4 \cdot 10^{-4}$
H ⁵	$1,0 \cdot 10^{-2}$ – $2,3 \cdot 10^{-3}$	S ⁶	$2,0 \cdot 10^{-2}$ – $1,6 \cdot 10^{-4}$
		Si	$1,8 \cdot 10^{-2}$ – $1,3 \cdot 10^{-4}$
		N ⁷	$1,6 \cdot 10^{-2}$ – $9,0 \cdot 10^{-5}$
		Mg	$1,4 \cdot 10^{-2}$ – $1,1 \cdot 10^{-3}$
		K	$1,1 \cdot 10^{-2}$ – $2,0 \cdot 10^{-4}$
Si	$6,1 \cdot 10^{-3}$ – $3,9 \cdot 10^{-3}$	Fe	$6,6 \cdot 10^{-3}$ – $7,7 \cdot 10^{-5}$
S ⁸	$2,5 \cdot 10^{-3}$ – $2,0 \cdot 10^{-3}$	H ⁹	$4,6 \cdot 10^{-3}$ – $1,8 \cdot 10^{-4}$
K	$1,2 \cdot 10^{-3}$ – $3,6 \cdot 10^{-4}$	Al	$2,5 \cdot 10^{-3}$ – $1,3 \cdot 10^{-5}$
		Ba	$1,0 \cdot 10^{-3}$ – $9,0 \cdot 10^{-8}$
Fe	$8,1 \cdot 10^{-4}$ – $3,3 \cdot 10^{-4}$	Li	$8,8 \cdot 10^{-4}$ – $5,6 \cdot 10^{-6}$
Mn	$6,7 \cdot 10^{-4}$ – $1,3 \cdot 10^{-4}$	Br	$3,8 \cdot 10^{-4}$ – $3,0 \cdot 10^{-5}$
Al	$3,2 \cdot 10^{-4}$ – $7,0 \cdot 10^{-6}$	P	$3,3 \cdot 10^{-4}$ – $5,2 \cdot 10^{-6}$
B	$1,4 \cdot 10^{-4}$	Sr	$2,5 \cdot 10^{-4}$ – $8,0 \cdot 10^{-6}$
		Mn	$1,8 \cdot 10^{-4}$ – $1,3 \cdot 10^{-6}$
P	$1,6 \cdot 10^{-5}$	As	$9,1 \cdot 10^{-5}$
		B	$1,1 \cdot 10^{-5}$
		Zn	$1,1 \cdot 10^{-5}$ – $3,2 \cdot 10^{-6}$
		J	$6,3 \cdot 10^{-6}$ – $1,6 \cdot 10^{-6}$
		Cu	$6,0 \cdot 10^{-6}$
		Pb	$6,1 \cdot 10^{-6}$ – $1,6 \cdot 10^{-6}$
		Ni	$1,6 \cdot 10^{-6}$
Rn	$2,8 \cdot 10^{-16}$ – $8,0 \cdot 10^{-17}$	Rn	$9,1 \cdot 10^{-17}$
Органическое вещество	$3,6 \cdot 10^{-3}$ – $4,0 \cdot 10^{-5}$	Есть Co, Rb	
		Органическое вещество	$1,8 \cdot 10^{-4}$ – $1,4 \cdot 10^{-4}$

Свободно выделяющиеся газы (объемн. %)

	1. CO ₂		2. CO ₂
CO ₂	99,6–98,4	CO ₂	98,3–64,9
N ₂ ¹⁰	1,0–6,8 · 10 ⁻¹	N ₂	35,1–8,7

¹ Есть разности, более богатые магнием, т.е. O–C–Na–Ca–Mg. Есть углекислые подклассы: (вес. %).

	1. CO ₂		2. CO ₂ –N ₂
CO ₂	2,0 · 10 ⁻¹ –1,8 · 10 ⁻¹	CO ₂	2,0 · 10 ⁻¹
N ₂	5,0 · 10 ⁻⁵ –1,4	N ₂	1,6 · 10 ⁻²
O ₂	8,6 · 10 ⁻⁵		

² Из HCO₃¹⁻ (до 6,3 · 10⁻¹), свободной CO₂ (до 1,8 · 10⁻¹ %) SiO₂ (до 1,3 · 10⁻² %) SO₄²⁻ (до 7,5 · 10⁻³ %), органического вещества (до 1,7 · 10⁻⁸ %), B₄O₇²⁻ (до 5,1 · 10⁻⁴ %), PO₄³⁻ (до 5,0 · 10⁻⁵ %).

³ Из HCO₃¹⁻ (до 2,8 · 10⁻¹ %), свободной CO₂ (до 2,3 · 10⁻¹ %), SO₄²⁻ (до 7,7 · 10⁻² %), SiO₂ (до 4,7 · 10⁻³ %), B₄O₇²⁻ (3,9 · 10⁻⁵ %), PO₄³⁻ (до 1,6 · 10⁻⁵ %).

⁴ Из HCO₃¹⁻, CO₂.

⁵ Из HCO₃¹⁻.

⁶ Из SO₄²⁻.

⁷ Из N₂ (до 1,6 · 10⁻³ %), NH₄¹⁺ (до 1,7 · 10⁻⁴ %), NO₃¹⁻ (до 5,7 · 10⁻⁴ %)

⁸ Из SO₄²⁻.

⁹ Из HCO₃¹⁻, NH₄¹⁺ (до 1,7 · 10⁻⁴ %).

¹⁰ С благородными газами.

800. Я приведу еще анализ (вес. %) воды O–C–Ca–Mg, и анализ Нарзана, сделанный Э. Карстенсом, который может быть рассматриваем как богатая кальцием разность O–C–Ca–(Na).



Плотный остаток:

$$5,6 \cdot 10^{-1} - 1,1 \cdot 10^{-1} \quad 1,7 \cdot 10^{-1}$$

Элементы:

O ³	4,9 · 10 ⁻¹ –5,0 · 10 ⁻²	O ⁵	2,7 · 10 ⁻¹
C ⁴	1,4 · 10 ⁻¹ –1,2 · 10 ⁻²		
Ca	3,9 · 10 ⁻² –8,3 · 10 ⁻³	C ⁶	6,9 · 10 ⁻²
Mg	3,6 · 10 ⁻² –3,4 · 10 ⁻³	Ca	3,6 · 10 ⁻²
Na	2,9 · 10 ⁻² –5,2 · 10 ⁻³	Ca	6,5 · 10 ⁻²
Na	2,4 · 10 ⁻² –1,1 · 10 ⁻³	N ⁷	3,2 · 10 ⁻²
Cl	1,8 · 10 ⁻² –3,1 · 10 ⁻⁴	Cl	1,3 · 10 ⁻²
S ⁸	1,0 · 10 ⁻² –2,8 · 10 ⁻⁴	Na	1,2 · 10 ⁻²
K	3,9 · 10 ⁻³ –9,0 · 10 ⁻⁵	S ⁹	1,5 · 10 ⁻²
H ¹⁰	3,7 · 10 ⁻³ –3,0 · 10 ⁻⁵	Mg	3,5 · 10 ⁻²

Si	$3,6 \cdot 10^{-3}$ – $4,2 \cdot 10^{-4}$	H ¹¹	$2,2 \cdot 10^{-3}$
Mn	$3,2 \cdot 10^{-3}$ – $3,2 \cdot 10^{-5}$	K	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Fe	$2,8 \cdot 10^{-3}$ – $4,3 \cdot 10^{-5}$		
N ¹²	$1,9 \cdot 10^{-3}$		
B	$1,3 \cdot 10^{-3}$		
Al	$6,4 \cdot 10^{-4}$ – $6,9 \cdot 10^{-6}$	Si	$4,8 \cdot 10^{-4}$
Sr	$3,0 \cdot 10^{-4}$ – $8,8 \cdot 10^{-7}$	Fe	$1,3 \cdot 10^{-4}$
Li	$3,3 \cdot 10^{-4}$ – $9,2 \cdot 10^{-6}$		
Ba	$1,7 \cdot 10^{-4}$ – $9,0 \cdot 10^{-7}$		
Br	$1,4 \cdot 10^{-4}$		
P	$8,6 \cdot 10^{-5}$ – $1,7 \cdot 10^{-6}$	Sr	$7,5 \cdot 10^{-5}$
As	$2,9 \cdot 10^{-5}$	Br	$3,0 \cdot 10^{-5}$
		Al	$1,5 \cdot 10^{-5}$
		Zn	$11, \cdot 10^{-6}$
J	$4,8 \cdot 10^{-6}$	B	$9,5 \cdot 10^{-6}$
		Mn	$6,5 \cdot 10^{-6}$
		P	$5,3 \cdot 10^{-6}$
		Li	$4,7 \cdot 10^{-6}$
		Ba	$2,9 \cdot 10^{-6}$
		Ni	$1,6 \cdot 10^{-4}$ –
		F	$1,6 \cdot 10^{-6}$
		J	$1,1 \cdot 10^{-6}$
		Cu	$6,0 \cdot 10^{-6}$
Rn	$5,7 \cdot 10^{-15}$		

Есть Cu, Be, Ti, As

Нет, NH₄, NO₂, NO₃

Свободно выделяющиеся газы (объемн. %)

	1. CO ₂	2. CO ₂ –N ₂	
CO ₂	99,8–97,0	CO ₂	80,8
N ₂	$9,3 \cdot 10^{-1}$ – $2,0 \cdot 10^{-1}$	N ₂ ¹³	15,2
O ₂	1,7–0	O ₂	4,0
CH ₄	0,9		
	2. CO ₂ –N ₂		
CO ₂	73,0		
N ₂ ¹³	26,5		
O ₂	0,5		

3. CO ₂ -N ₂	
N ₂ ¹³	53,2
CO ₂	46,8

Дебит воды около $1,57 \cdot 10^6$ м в
сутки (около $1,6 \cdot 10^6$ т).

¹ Есть магниевые разности, Mg > Ca.

Есть подклассы: 1) CO₂-N₂: CO₂ (до $3,6 \cdot 10^{-2}$ вес. %), N₂ (до $1,9 \cdot 10^{-3}$ %) и 2) CO₂: (до $2,5 \cdot 10^{-1}$ %).

² К сожалению, подкласс неизвестен. Для Нарзана это казалось бы не следовало допускать (CO₂-N₂?).

³ Из растворенного CO₂ (до $2,7 \cdot 10^{-1}$ %), HCO₃¹⁻ ($1,9 \cdot 10^{-1}$ %), SiO₂ ($7,6 \cdot 10^{-3}$ %), SO₄²⁻ (до $1,6 \cdot 10^{-2}$ %), HPO₄²⁻ (до $6,1 \cdot 10^{-5}$ %), HAsO₄³⁻ (до $5,4 \cdot 10^{-5}$ %), растворенный O₂ (до $3,9 \cdot 10^{-4}$ %),

⁴ Из CO₂, HCO₃¹⁻.

⁵ Из SO₄²⁻ ($4,5 \cdot 10^{-2}$ %), HCO₃¹⁻ (1,07%), CO₂ ($2,0 \cdot 10^{-1}$ %). Органическое вещество не учтено. Есть CO?

⁶ Из HCO₃¹⁻ и CO₂.

⁷ Растворенный N₂. Выведен косвенным путем из указаний и чисел Карстенса для CO₂ сгущенной углекислоты из баллонов «добывающегося главным образом из поглощенного водой газа» (Э. Карстенс, 1926), принимая за исходное $2,0 \cdot 10^{-1}$ % растворенной CO₂. Заслуживает внимания большое количество растворенного N₂. Однако это же число (10^{-2} %), превышающее обычный порядок процентного весового содержания азота (10^{-8} %), вызывает сомнение. «Поглощенный газ», может быть, отвечает свободно выделяющемуся газу? Ибо для него мы имеем 15,2% газов по объему; между тем как Карстенс дает для растворенных газов 6,1% по объему; принимая $2,0 \cdot 10^{-1}$ % по весу растворенной углекислоты, мы получим $1,0 \cdot 10^{-2}$ % по весу растворенного азота: число тоже исключительно большое и необычного порядка и заслуживающее серьезного внимания. Необходимо внимательно изучить режим газов Нарзана: 1) убедиться в отсутствии с них COS, 2) точно определить растворенные газы и (благородные) и 3) обратить внимание на количественный состав выделяющегося газа в пузырьках разного размера. Удивительно, что вода такого источника, как Нарзан, так недостаточно изучена.

⁸ Из H₂S.

⁹ Из SO₄²⁻.

¹⁰ Из HCO₃¹⁻, и H₂S (до $5,0 \cdot 10^{-5}$ %).

¹¹ Из HCO₃¹⁻. Органическое вещество не учтено.

¹² Растворенный N₂ (до $1,9 \cdot 10^{-2}$ %).

¹³ С благородными газами.

801. К этому же подцарству относятся разные воды *вулканические*, сгущающиеся из вулканических паров (§ 712), гейзерные и *сопочные воды*.

Эти воды всегда являются смесью вод, из областей фреатических, подымающихся из более глубоких частей земной коры и биосферы, из областей вод пресных метеорных, чаще верховодок.

Это воды в общем очень бедные солевым остатком – значительная часть их является пресными.

Соленые – в сущности солоноватые – разности наиболее изучены для гейзеров.

Вероятно, мы имеем здесь довольно большое разнообразие вод, характеризующихся явным обогащением В, NH₄, Si. Дальнейшее изучение выяснит вероятно многие неожиданные черты этих вод.

Можно пока отметить несколько видов для семейств гейзерных вод, причем часть поставлено условно.

- | | |
|----------------|------------------|
| 1. Ca-C-O? | 6. S-N-O-H-Si. |
| 2. Na-C-O? | 7. Cl-O-Na-Si-S. |
| 3. Ca-S-C-O? | 8. O-S-N-Mg-H. |
| 4. O-Na-Si-Cl? | 9. O-S-N-H-Mg-C. |
| 5. Cl-Na-O-S. | |

802. Своеобразны минеральные источники, связанные с гейзерами в Калифорнии.

Гейзерные воды, по-видимому, сгущаются из паров, содержащих B, Li, NBu, H₂S. Постоянное нахождение Si и Al вероятно объясняется их воздействием на кремниевые и алюмокремниевые соединения их вместилищ. Возможно участие летучих (хлористых?) соединений алюминия и кремния, принесенных снизу?

803. Особый тип представляют озера, связанные с гейзерами, – например в Новой Зеландии. Большая часть их пресная, озеро Ратомохана в его современном состоянии является соленым. Его состав по анализу Ф. Григга (вес. %):

Гейзерное озеро Ратомохана
Плотный остаток 1,6 10⁻¹
Элементы:

Cl	7,0 · 10 ⁻²	Ca	2,3 · 10 ⁻³
Na	4,7 · 10 ⁻²	Mg	8,9 · 10 ⁻⁴
O ¹	2,5 · 10 ⁻²	H ⁴	2,5 · 10 ⁻⁴
S ²	2,6 · 10 ⁻³	Al	2,4 · 10 ⁻⁴
C ³	2,5 · 10 ⁻³	N ⁵	2,5 · 10 ⁻⁵

¹ Из SO₄²⁻ (7,7 · 10⁻³), HCO₃¹⁻ (1,3 · 10⁻²), SiO₃²⁻ (1,5 · 10⁻² %). Газы, органическое вещество не учтены.

² Из SO₄²⁻.

³ Из HCO₃¹⁻.

⁴ Из HCO₃¹⁻, NH₄¹⁺

⁵ Из NH₄¹⁺.

804. Тесно связаны с гейзерными – *воды вулканические*. Здесь однако несомненно влияние fumarольных выделений.

Воды эти, хотя изучались и изучаются многократно, сейчас не дают достаточно ясной картины. Обычно мы здесь встречаемся одновременно как с водами, сопровождающими само извержение (большей частью, быстро преходящими), так равно с водами в результате fumarольных процессов и с восходящими водами, минеральных источников, – может быть, генетически связанными (Кнебель) с вулканическим процессом.

Воды вулканического происхождения, обычно кислые, богаты свободными HCl и H₂SO₄, бедны Al и Fe.

Таковы воды состава O-Cl-S-(H).

Для *сопочных* вод характерно нахождение бора. Эти воды принадлежат к карбонатным водам.

805. Подцарство соленых пластовых верховодок и напорных вод мало изучено, и многие из них нашли место среди минеральных источников, так как очень трудно – более трудно, чем для пресных вод – отличать эти два подцарства подземных вод.

Эти воды гораздо распространеннее по массе, чем пресные верховодки и артезианские воды, но химически они меньше изучены, так как меньше их значение в человеческой жизни. Как для питья, так и для обихода, для техники и для орошения имеют значение главным образом солоноватые, слабо соленые воды, число анализов которых поэтому преобладает. Соленые верховодки, относительно богатые кислородом и бедные солью и углекислотой, подкласса $N_2-O_2-CO_2$, составляют непосредственный переход к пресным водам. Воды эти нестойки и очень быстро, обогащаясь углекислотой, увеличивают свой солевой осадок и переходят в соленые воды *углекисло-азотно-кислородные*.

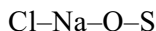
Может быть, должны быть среди них выделены кальциевые воды в областях богатых гипсом, где создаются малопригодные условия для жизни (кроме микробов, связанных с серой и азотом) и накопление углекислоты идет очень медленно. Таковы, например, некоторые верховодки гипсоносных областей Англии.

Благодаря значительной роли, какую играет в этой воде углекислота, гипсовые верховодки $O-Ca-S-C$, может быть переходящие в $O-Ca-S-C-Cl$, иногда принимаются за минеральные источники $O-Ca-S$, не выходящие из предела биосферы. Явление требует проверки и исследования.

806. Помимо этих жестких *гипсовых грунтовых вод* можно различить среди верховодок соленые, богатые Na, хлористые воды, переходящие в $Na-Cl-S-O$ и сосредоточенные в областях, связанных с историей замирания морских бассейнов, или верховодок в бессточных, богатых растворимыми солями, областях.

Химический состав этих вод должен быть различен; в последнем случае сульфатные и сульфатокарбонатные воды должны играть крупную роль.

Как пример таких вод, можно дать следующие числа анализов для соленых вод колодцев. Воды эти подкласса $N_2-CO_2-O_2$.



Плотный остаток $1,9-9,2 \cdot 10^{-1}$

Элементы:

Cl	$8,2 \cdot 10^{-1}-3,7 \cdot 10^{-1}$	Ca	$3,0 \cdot 10^{-2}-1,3 \cdot 10^{-2}$ (сл.)
Na	$4,7 \cdot 10^{-1}-2,4 \cdot 10^{-1}$		
O ¹	$3,8 \cdot 10^{-1}-5,5 \cdot 10^{-2}$	C ³	$7,0 \cdot 10^{-3}-1,9 \cdot 10^{-3}$
S ²	$1,8 \cdot 10^{-1}-1,8 \cdot 10^{-2}$	Si ⁴	$5,2 \cdot 10^{-3}-5,6 \cdot 10^{-4}$
Mg	$1,4 \cdot 10^{-2}-2,9 \cdot 10^{-2}$	H ³	$5,4 \cdot 10^{-4}-1,5 \cdot 10^{-4}$

¹ Из SO_4^{2-} (до $5,4 \cdot 10^{-1}$ %), HCO_3^{-} (до $3,4 \cdot 10^{-1}$ %), SiO_2 (до $1,1 \cdot 10^{-1}$ %), CO_3^{2-} (до $2,6 \cdot 10^{-2}$ %). Кислород растворенный не принят во внимание.

² Из SO_4^{2-} .

³ Из HCO_3^{-} .

⁴ Из SiO_2 .

807. Вода всегда содержит калий, часто пропускаемый в анализах.

Очень соленые – рассолы (§ 855) и почти рассолы – встречаются и вблизи поверхности – подобно верховодкам. Возможно, что они часто так или иначе связаны с соляными залежами.

Эти химически почти неизученные явления могут принимать очень различную форму и вероятно вскроют при исследовании разные виды вод. Так, например, такие «грунтовые» соленые воды – вероятно, связанные не с пластовыми, а с коррозионными водами, выходят иногда в виде соленых источников на земную поверхность и могут давать начало соленым озерам. Такой источник выходит, например, в Малом Тамбуканском озере (*Н. Славянов*, 1926).

808. Относительно более близкие к поверхности *напорные* воды, соленость которых относительно невелика (примерно, до 300 м глубины), дают (вес. %) следующие числа анализов (воды эти обычно кислорода не содержат):

Cl–Na–O
Плотный остаток $2,3-1,2 \cdot 10^{-1}$
Элементы:

Cl	$1,3-5,3 \cdot 10^{-3}$	Si ⁴	$2,1 \cdot 10^{-2}-1,4 \cdot 10^{-4}$
		H ⁵	$1,2 \cdot 10^{-2}-1,0 \cdot 10^{-6}$
Na	$8,8 \cdot 10^{-1}-8,2 \cdot 10^{-3}$		
O ¹	$5,6 \cdot 10^{-1}-6,2 \cdot 10^{-3}$	K	$2,3 \cdot 10^{-3}-9,5 \cdot 10^{-4}$
Ca	$3,9 \cdot 10^{-1}-4,8 \cdot 10^{-5}$	Fe	$2,8 \cdot 10^{-3}-8,0 \cdot 10^{-5}$
S ²	$2,6 \cdot 10^{-1}-6,9 \cdot 10^{-5}$		
Mg	$2,1 \cdot 10^{-1}-4,2 \cdot 10^{-4}$	N ⁶	$3,6 \cdot 10^{-4}-23 \cdot 10^{-5} (5,5 \cdot 10^{-3}?)$
C ³	$1,8 \cdot 10^{-1}-7,0 \cdot 10^{-4}$	Al	$3,1 \cdot 10^{-4}$
		Mn	$1,5 \cdot 10^{-4}$

¹ Из HCO_3^- (max. $6,0 \cdot 10^{-1} \%$), SO_4^{2-} (max. $7,3 \cdot 10^{-1} \%$), SiO_2 (max. $6,1 \cdot 10^{-3} \%$), NO_3^- , CO_2 и O_2 не приняты во внимание. (CO_2 до $9,8 \cdot 10^{-2} \%$).

² Из SO_4^{2-} .

³ Из HCO_3^- (до $1,7 \cdot 10^{-2}$. CO_2 , органические вещества не приняты во внимание).

⁴ Из SiO_2 .

⁵ Из HCO_3^- и NH_4^+ .

⁶ Из NO_3^- и NH_4^+ . Белковый азот (до $2 \cdot 10^{-6} \%$ и больше).

Эти воды находятся еще под сильным влиянием аэробной жизни, и температура в них лежит далеко от точки кипения чистой воды; давление едва ли выходит за пределы десятков атмосфер. Надо думать, что более точное их изучение позволит выделить среди них ряд видов, может быть связанных с определенными геохорами. Может быть будут магниевые виды.

Формула этих видов верно упростится при более тщательном исследовании.

Сейчас временно она очень сложна: Cl–Na–O–S–Mg–Ca–(C).

809. Книзу – в более глубоких слоях – состав меняется, но достаточного числа достоверных и достаточно полных анализов нет в нашем распоряжении. Мы не знаем также и тех газов, которые растворены в этих более глубоких водах, несмотря на их огромное использование человеком.

Значительная часть воды и ее компонентов, – все увеличивающаяся по мере углубления, – происходит в них от сгущения в жидкость подземных нагретых атмосфер, в которых, сколько можно судить, пары воды – в сущности при температурах и давлениях этих областей – легкий подвижный газ H_2O – в конце концов играет господствующую роль азота нашей тропосферы.

Вся стратисфера, вероятно до самих глубоких частей своих, проникнута такими теплыми, горячими пластовыми водами.

Они представляют нередко совершенно грандиозные явления, не отражающиеся на земной поверхности, вскрываемые бурением.

Таковы, например, пластовые глубокие воды Австралии, частью в областях ее пустынь и полупустынь, восходящие при бурении до нескольких сот метров под давлением, представляющие *артезианские бассейны* – воды Cl–Na и Na–C–O–Cl.

Общая площадь этих вод – в песках и песчаниках, главным образом, юрской системы – доходит до $2,48 \cdot 10^6$ км², а один из подводных бассейнов – Большой бассейн – занимает площадь до $1,45 \cdot 10^6$ км², превышая втрое площадь Франции.

По-видимому, правы те геологи (*Грегори*), которые считают эти воды не связанными в основной своей части с современной тропосферой с современными метеорными водами.

810. Учитывая недостаточное количество анализов, все же можно выделить здесь воды резко разного химического состава.

В первом охвате можно отделить воды, в которых в господствующий комплекс попадает хлор, и воды, в которых он отсутствует.

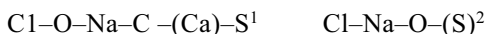
В первом подсемействе можно пока различить:

1. Cl–O–Na–C–(S)–(Ca).
2. Cl–Na–O–S.
3. Cl–Na.
4. Cl–Na–Ca.

причем, по-видимому, второй вид вод Cl–Na–O–S с глубиной исчезает (исчезновение иона SO_4^{2-} и удаление серы в виде H_2S), а четвертый – Cl–Na–Ca – увеличивается с глубиной, переходя в Ca–Na–Cl. Между 1 и 2 может быть есть переходы, т.е. воды Cl–Na–O–C–S.

Воды, содержащие серу, не могут идти глубоко, так как при температуре этих вод и при обилии, как теперь начинает выявляться, анаэробной флоры в стратисфере, S уходит из ее вод в виде H_2S . Рассолов им отвечающих нет.

811. Следующие данные дают понятие об этих водах (вес. %):



Плотный остаток:

$$1,7-1,2 \cdot 10^{-1} \quad 9,1 \cdot 10^{-1}-1,6 \cdot 10^{-1}$$

Элементы:

Cl	$6,3 \cdot 10^{-3}$ – $1,3 \cdot 10^{-2}$	Cl	$3,6 \cdot 10^{-1}$ – $4,3 \cdot 10^{-3}$
O ³	$3,6 \cdot 10^{-1}$ – $1,4 \cdot 10^{-2}$	Na	$2,0 \cdot 10^{-1}$ – $1,1 \cdot 10^{-2}$
Na	$3,7 \cdot 10^{-1}$ – $1,1 \cdot 10^{-2}$	O ⁴	$1,5 \cdot 10^{-1}$ – $1,1 \cdot 10^{-2}$
C ⁵	$2,1 \cdot 10^{-1}$ – $2,5 \cdot 10^{-3}$		
Ca	$1,6 \cdot 10^{-1}$ – $4,0 \cdot 10^{-4}$	Ca	$9,0 \cdot 10^{-2}$ – $6,0 \cdot 10^{-4}$
S ⁶	$1,5 \cdot 10^{-1}$ – $2,6 \cdot 10^{-5}$	S ⁷	$7,6 \cdot 10^{-2}$ – $2,7 \cdot 10^{-2}$
Mg	$3,8 \cdot 10^{-2}$ – $1,9 \cdot 10^{-4}$	Mg	$1,8 \cdot 10^{-2}$ – $4,2 \cdot 10^{-4}$
K	$1,7 \cdot 10^{-2}$ – $7,8 \cdot 10^{-4}$	C ⁸	$1,3 \cdot 10^{-2}$ – $2,8 \cdot 10^{-3}$
		Cl	$1,2 \cdot 10^{-2}$ – $4,8 \cdot 10^{-3}$
H ⁹	$7,0 \cdot 10^{-3}$ – $5,2 \cdot 10^{-4}$	K	$5,0 \cdot 10^{-3}$
Si	$3,4 \cdot 10^{-3}$ – $1,9 \cdot 10^{-4}$ (сл.)	Si	$1,2 \cdot 10^{-3}$ – $3,8 \cdot 10^{-4}$
Fe	$2,7 \cdot 10^{-3}$ – $6,0 \cdot 10^{-4}$		
As	$1,8 \cdot 10^{-3}$		
Li	$1,2 \cdot 10^{-3}$ – $8,0 \cdot 10^{-6}$		
Al	$3,0 \cdot 10^{-4}$ – $6,4 \cdot 10^{-4}$	Fe	$5,0 \cdot 10^{-4}$ – $2,0 \cdot 10^3$
Mn	$8,4 \cdot 10^{-5}$		
Br	$3,3 \cdot 10^{-5}$ (сл.)		
Ba	$1,0 \cdot 10^{-5}$		
J	$9,0 \cdot 10^{-6}$	N ¹⁰	$3,3 \cdot 10^{-6}$
Sr	$8,0 \cdot 10^{-6}$		
N ¹¹	$1,6 \cdot 10^{-6}$		
H ¹¹	$4,0 \cdot 10^{-7}$	H ¹⁰	$7,0 \cdot 10^{-7}$

Есть Li

¹ По-видимому, есть два направления изменения состава этих вод: более богатые и более бедные Cl и более богатые и более бедные Ca.

² По-видимому, есть разности, где хлор отходит на второй план.

³ Из HCO_3^{1-} (до $4,3 \cdot 10^{-1}$ %), SO_4^{2-} ($9,1 \cdot 10^{-2}$ %), SiO_2 (до $2,5 \cdot 10^{-3}$ %), CO_2 (до $2,5 \cdot 10^{-1}$ %), HAsO_4^{2-} (до $3,3 \cdot 10^{-3}$ %), CO_3^{2-} (до $3,0 \cdot 10^{-1}$ %). Органическое вещество не учтено.

⁴ Из CO_3^{2-} (до $6,6 \cdot 10^{-2}$ % CO_2), CO_3^{2-} и органическое вещество не учтено. Из SO_4^{2-} (до $9,9 \cdot 10^{-2}$ %)

⁵ Из HCO_3^{1-} CO_2 . Органическое вещество не учтено.

⁶ Из SO_4^{2-} , H_2S . Органическое вещество не учтено.

⁷ Из SO_4^{2-} , H_2S .

⁸ Из CO_3^{2-} .

⁹ Из HCO_3^{1-} .

¹⁰ Из NH_4^{1+} (до $6,0 \cdot 10^{-6}$), нахождение аммиака (аммония NH_4^{1+}) в этих водах обычно.

¹¹ Из NH_4^{1+} (до $2,0 \cdot 10^{-6}$), встречается и азот, связанный с организмами (белковый и т.п.). Очевидно и здесь (и для примесей 10) числа для N и для H не дают понятия о их количестве; растворенный N_2 не учтен, также не учтены и содержащие азот органические вещества.

812. Особую группу представляют среди этих вод – *воды нефтяных месторождений*.

Эти воды обладают не только высокой температурой, как и все глубокие напорные воды, но отличаются от всех вод своеобразным химическим составом.

Удобно выделить их в особое семейство не только по различию их химического состава, но и по своеобразному подклассу, богатому углеводородами. Само месторождение жидких углеводородных тел является очень замечательным и своеобразным местом в земной коре – *газогенной областью* в биосфере, еще далеко не изученной в нужной степени, меняющей все химические процессы, происходящие в этих участках земной коры.

Здесь идут оригинальные радиохимические изменения, воды эти богаты двумя изотопами радия–радием и мезоторием I; здесь скапливаются в известных условиях огромные количества гелия; воды богаты анаэробной (и аэробной?) флорой и должны содержать свободный радиогенный кислород.

Это своеобразные газогенные области в земной коре с особым метаморфизмом. Пластовые воды отражают здесь это особое состояние метаморфизма.

Ближайшее будущее выяснит более точно химию этих вод, но пока удобно их выделить отдельно, учитывая это будущее.

813. К сожалению, несмотря на множество химических анализов, состав этих вод невыяснен. Уловлены только некоторые своеобразные их особенности.

Это является следствием отчасти того, что одновременно в нефтяных месторождениях наблюдаются воды разного происхождения, которые к тому же здесь образуют смеси, сглаживающие свойства отдельных видов, образующих смесь. С другой стороны, методика обычного химического исследования чрезвычайно недостаточна.

Такая неполнота наших знаний о нефтяных водах удивительна. Ибо благодаря огромному значению нефтяного дела – и нефтяных вод в нем – существует большая литература в нашей стране, в частности о нефтяных водах. Огромная работа затрачивается на получение точных данных об их свойствах. И в результате мы имеем ту чрезвычайно несовершенную картину явления, которую приходится давать в этой сводке.

Причиной отчасти является медленность опубликования ценных данных, но главным образом их неполнота и неправильная методика. Основные даты не изучаются. Большой труд затрачен на обработку материала исследования по так называемому геохимическому методу Роджерса, и Пальмера, который связан с неполнотой исследования и в своих геологических посылках чрезвычайно сомнителен. Большую часть этих данных, к сожалению, приходится оставлять – для целей этой книги – почти без использования и работу приходится переделывать снова, – но это возможно в немногих случаях, так как самые воды уже исчезли и не восстановимы.

Мы имеем среди этих вод как воды *соленые* (0,1–5,0% солевого остатка), так и *рассолы*, при чем переход от соленых вод в рассолы часто совершенно постепенен. Пресные воды этого типа (больше $8 \cdot 10^{-2}$ % солевого остатка), по-видимому, так же как и слабо соленые, должны быть редки и требуют переисследования.

Одно из ярких отличий этих вод – характер и количество растворенных в них органических веществ и растворенных в них газов – обычно не принимается во внимание и не исследуется¹. А между тем эти компоненты отличают их от всех нам известных вод и являются следствием взаимодействия между водами и нефтями, с которыми они совместно встречаются. В этих водах растворены *органические кислоты*, к сожалению, неизученные даже химически в достаточной степени. По-видимому часть этих кислот принадлежит к ряду жирных кислот, но часть является своеобразными стойкими соединениями, может быть связанными с нафтенами и с теми своеобразными циклическими углеводородами, которые характерны для некоторых нефтей. Уже из этого изложения фактов ясно, что «нафтеновые кислоты» сопровождающих нефти вод должны быть различны для различных типов нефтяных месторождений. Для парафиновых нефтей они должны быть иными, чем например, для нефтей нафтеновых. Никакого отражения в анализах этих вод, отражения количественного – и даже качественного, удовлетворяющего нашим современным научным требованиям, – эти компоненты вод до сих пор не получили. А между тем, они должны иметь, как кажется, очень большое значение для будущей научной классификации этих вод и выяснения относящихся сюда видов вод.

814. Точно так же совершенно неясен *подкласс* этих вод, так как нет ни одного анализа, который бы дал количественное содержание растворенных в них углеводов, да и других газов. Неизвестен даже с точностью качественный состав этих углеводов. Несомненно, среди газов присутствует всегда метан, но ничто не указывает, чтобы он был преобладающим углеводородом во всех случаях. Высокая температура – выше 40–70°, которую имеют эти воды, должна отражаться на их газовых компонентах очень резким образом. Качественные пробы, например, для Грозненских районов, дают в этих водах бутан и пропан. Характер химического положения нафтеновых кислот тоже неясен. Неясно, являются ли они в свободном состоянии или связанными.

Может быть будет недалеким от реальности отнести эти воды в подкласс *углекисло-углеводородных*; неясно количество в них азота, что сейчас представляет одну из самых очередных задач их исследования. Благородные газы, в том числе гелий (в растворе), не изучены.

Очень возможно – и теоретически неизбежно – образование в этих водах вторичного *свободного кислорода* (и водорода), образующегося на больших глубинах в стратифере. Дело в том, что почти все известные нам случаи очень богатых радием вод, по-видимому, (больше 10⁻¹⁰ % Ra) относятся к этим водам; ниже 10⁻¹¹ % Ra, радий обычно в этих водах, по-видимому, не спускается². Дальнейшие исследования выяснят этот факт, и может быть эти воды явятся органогенными метаморфизованными, – явятся в значительной своей части тесно связанными с генезисом природных углеводов – нефтей, – сложным процессом метаморфизации в стратифере и в нижних частях биосферы органического вещества определенных биоценозов, связанным с радиохимическим изменением и созданием в земной коре газообразного состояния материи.

¹ Работа в этом отношении у нас начинается, но медленно развивается.

² Возможно, что есть нефтяные воды, бедные Ra и MsThI или не заключающие последнего.

815. Сейчас для объяснений особенностей состава этих вод имеет большой успех теория, которая считает эти воды несколько измененными или смешанными с обычными пластовыми водами – *ископаемыми* морскими водами. Считают, что эти воды зародились в своей основной части – на *месте*, из тех подземных вод, которые остались в осадочных породах при их образовании, при диагенезе их из морских илов. Их называют поэтому также водами врожденными, присущими тем осадочным породам, в которых они находятся.

Это название лучше определяет их характер, чем то, в котором сказывается гипотеза о морском их происхождении.

Возможно, что действительно есть тесная связь этих вод с теми, точно невыясненными процессами, которые характерны для генезиса нефти. В таком случае едва ли выступит однако на видное место обычная, химически нам хорошо известная морская вода.

Ибо надо отметить, что в основе всех сравнений этих вод с морской водой лежит неизменно повторяющаяся *логическая ошибка*. Сравнивают эти воды с основной морской водой, хотя состав вод, могущих дать начало буровым водам, сильно отличен от состава морской воды – это воды *морских илов*, относящиеся к другому подцарству соленых вод – иловых подземных, химически очень мало изученных, но явно резко химически отличных от морской воды.

816. Имея общие признаки, эти нефтяные воды, известные нам в виде буровых, все же химически различны для разных местностей, что во всяком случае указывает на сложность связи этих вод с нефтью.

Было бы чрезвычайно интересно сравнить эти различия с разным характером нефтей, которые они сопровождают.

Если бы оказалось, что такой связи нет, возможно – при связи этих вод с генезисом нефтей, – что к водам этим примешаны воды другого происхождения. Но вполне допустимы и позднейшие химические изменения этих вод.

Прежде всего очень характерно отношение этих вод к иону SO_4^{2-} . В значительном числе случаев эти воды не содержат этого иона или содержат его в ничтожных количествах. Обычно отсутствие SO_4^{2-} объясняется вторичным его восстановлением, благодаря присутствию в этих водах большого количества органических веществ. Существование анаэробной флоры пока не учитывается, а оно очевидно гораздо более активно. Сероводород довольно обычен в этих водах.

Однако известны многие нефтяные буровые воды, которые содержат SO_4^{2-} , следовательно, одно присутствие растворенных органических веществ недостаточно для объяснения его отсутствия. Возможная, однако, вторичная причина этого явления – присутствие или отсутствие жизни, восстанавливающей сульфаты анаэробных бактерий, которые несомненно встречаются на глубинах до 2–3 километров в областях, где наблюдаются эти воды. Вопрос о причине отсутствия SO_4^{2-} и кислорода в некоторых из этих вод (в большинстве ?) не может считаться выясненным¹.

Он может быть поставлен в общей плоскости: взаимодействия двух природных жидкостей – природных водяных масс и природных углеводородов и

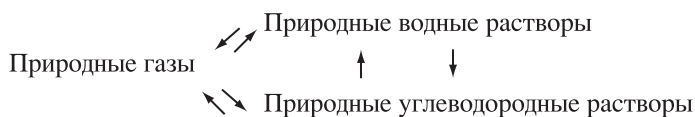
¹ Недавнее (1934 г.) открытие (А. Малиянец и В. Малышек) в этих водах аэробных пурпурных бактерий, может быть, приведет к более точному выяснению этого огромного природного явления.

их спутников, – неизбежно наблюдаемых вместе и химически по отношению друг к другу неинертных при тех условиях, при каких они в природе наблюдаются.

Нефти и воды собираются вместе в зависимости от общих условий, которым подчинены в земной коредвигающиеся жидкости. Они, так же как и газы, собираются в дислоцированных участках земной коры, тесно смешиваются и разделяются, образуя несмешивающиеся растворы или эмульсии только благодаря резко отличным физическим свойствам.

При таких смешениях, при длительности соприкосновения, при проникновении газами, при высокой температуре, приближающейся, а может быть иногда глубже и превышающей 100°, идут многочисленные, неизученные химические взаимодействия между водами и углеводородами.

Каждое нефтяное месторождение, создаваемое человеком бурением, – есть нарушенное им, находящееся в процессе метаморфизма, природное сложное равновесие



Химическое взаимодействие в процессе метаморфизации может быть сказывается в особенностях элементарного химического состава этих вод.

Может быть в связи с этим характерно – по крайней мере для некоторых из вод – присутствие в больших, чем обычно, количествах ионов NH_4^{1+} , бедность магнием и богатство кальцием. Калий по-видимому, тоже наблюдается иногда в количествах больших, чем в обычных напорных водах. Все эти отрывочные указания получают свое объяснение, когда эти воды будут, наконец, точно изучены. По-видимому есть концентрация йода, брома, бария, стронция и бора. Роль кальция требует особого внимания.

817. Я сведу здесь имеющиеся данные, – во-первых, в общей таблице для всех нефтяных буровых вод и, во-вторых, для отдельных частных случаев. В одном и том же нефтяном месторождении различают обычно несколько разных нефтяных вод, идущих из разных горизонтов.

Только частью они связаны генетически (геологически или химически) с нефтью, но находятся в нефтяных областях.

Следующая таблица дает понятие о колебаниях всех различных нефтяных вод (вес. %):

Cl-Na			
Плотный остаток 4,9%–1,1 · 10 ⁻¹			
(Уд. вес до 1,02)			
Элементы:			
Cl	9,8 · 10 ⁻¹ –5,0 · 10 ⁻²		
Na	4,8 · 10 ⁻¹ –3,9 · 10 ⁻²	H ⁵	8,6 · 10 ⁻³ –1,3 · 10 ⁻⁴ 6
O ¹	8,5 · 10 ⁻¹ –1,6 · 10 ⁻³	J	7,8 · 10 ⁻³ –2,0 · 10 ⁻⁴
Ca	6,1 · 10 ⁻¹ –1,9 · 10 ⁻⁴	Fe	6,8 · 10 ⁻³ –1,0 · 10 ⁻⁵ (сл.)
Mg	3,9 · 10 ⁻¹ –7,6 · 10 ⁻⁵ сл.	Al	2,4 · 10 ⁻³ –2,0 · 10 ⁻⁵
S ²	2,5 · 10 ⁻¹ –9,3 · 10 ⁻⁴	N	1,0 · 10 ⁻³

C ³	1,6 · 10 ⁻¹ –1,6 · 10 ⁻⁴		
K	2,7 · 10 ⁻¹ –1,4 · 10 ⁻⁴ сл.		
Sr	1,0 · 10 ⁻¹ –7,6 · 10 ⁻³	Ra	1,8 · 10 ⁻⁹ –6,5 · 10 ⁻¹²
P	7,5 · 10 ⁻²		
Br	2,8 · 10 ⁻² –6,5 · 10 ⁻³ (сл.)		
Si ⁴	2,5 · 10 ⁻² –5,6 · 10 ⁻⁵		
Ba	1,0 · 10 ⁻² –1,2 · 10 ⁻⁴ (0)		

Есть В, Li, Mn

Свободно выделяющиеся газы (объемн.%):

Углеводороды	97,9–90,5	CO	3,0 · 10 ⁻¹
N ₂ и редкие газы	8,6–1,4	O ₂	2,0 · 10 ⁻¹ –1,0 · 10 ⁻¹
CO ₃	3,6–1,0 · 10 ⁻¹	Ar + Xe + Kr	1,9 · 10 ⁻¹
Тяжелые углеводороды	3,0 · 10 ⁻¹	Ne + Xe	2,5 · 10 ⁻¹

¹ O₂, CO₂ и органическое вещество не учтены. O₂ может быть в связи с Ra. Из SO₄²⁻ (до 7,3 · 10⁻¹ %), CO₃²⁻ (до 1,9 · 10⁻¹ %), HCO₃¹⁻ (до 6,0 · 10⁻¹ %), SiO₂ (до 4,4 · 10⁻² %); NO₃¹⁻ (4,5 · 10⁻³ %).

² Из SO₄²⁻ и H₂S (до 2,7 · 10⁻³ %).

³ HCO₃¹⁻ и CO₃²⁻; CO₂ и органическое вещество не учтены.

⁴ Из SiO₂.

⁵ Из HCO₃¹⁻ и H₂S.

⁶ Если принять нефтяную воду NH₄-SO₄ (§ 818), то % N увеличится до 1,0 · 10⁻¹ %, а Н до 2,9 · 10⁻² %.

Генезис этих вод, вероятно, очень разнообразен, и они объединены вместе только благодаря особым условиям своего происхождения, связанного с нефтью и проявляющегося в нахождении нефтяных кислот, особом характере газов (углеводороды) и богатстве радием и мезоторием. Переходы в пресные редки, но часты в рассольные (§ 868).

818. Я приведу здесь несколько примеров отдельных видов природных вод этого семейства из разных местностей. Таковы воды Грозненского района, изученные в своем солевом неорганическом составе, с одной стороны, А.Н. Сахановым и И. Лучинским, с другой – Маляровым. Но несмотря на их большой труд, наше представление об этих водах очень неполно, ибо пропущен анализ газов, растворенных в водах, и возможно, что разные воды района связаны с разными нефтями – ибо среди грозненских нефтей мы имеем резко выраженные парафиновые и нафтенные (асфальтовые) нефти (по Саханову). Подклассы этих вод не уточнены. Среди нефтяных вод большую роль играют рассолы (§ 868).

Не только отсутствие анализов растворенных газов делает наше познание о буровых водах Грозненских нефтяных районов неполным, но и отсутствие изучения растворенных органических («нефтяных») кислот.

Все деления – и представления о их составе – делаются на основании изучения ионов. На этом основании А. Саханов и И. Лучинский делят их на следующие группы (я отбрасываю подгруппы): I. *Соленые*, II. *Горькощелочные* и III. *Соленощелочные*.

Числа, даваемые ими, следующие (вес. %):

Нефтяные воды Грозненского района
Плотный остаток:

	I		II		III
	4,5–4,5 · 10 ⁻¹		4,0 · 10 ⁻¹ –1,1 · 10 ⁻¹		1,2–1,0 · 10 ⁻¹
			<i>Элементы:</i>		
Cl	2,6 · 10 ⁻¹ –1,5 · 10 ⁻¹				
Na	1,1–1,6 · 10 ⁻¹				
O ¹	1,7 · 10 ⁻¹ –1,2 · 10 ⁻²	O ²	1,5 · 10 ⁻¹ –3,3 · 10 ⁻²	Na	6,0 · 10 ⁻¹ –7,3 · 10 ⁻²
S ³	1,4 · 10 ⁻¹	Na	1,5 · 10 ⁻¹ –2,8 · 10 ⁻²	Cl	4,9 · 10 ⁻¹ –5,7 · 10 ⁻²
				O ⁴	2,3 · 10 ⁻¹ –4,2 · 10 ⁻²
Ca	9,1 · 10 ⁻² –1,2 · 10 ⁻³	C	5,7 · 10 ⁻² –2,7 · 10 ⁻³	C	5,7 · 10 ⁻² –6,2 · 10 ⁻³
Mg	5,0 · 10 ⁻² –8,6 · 10 ⁻⁴	Cl	3,7 · 10 ⁻² –5,3 · 10 ⁻³	S	2,8 · 10 ⁻² –0
K	3,3 · 10 ⁻² –4,8 · 10 ⁻³	S	2,5 · 10 ⁻² –0	K	1,8 · 10 ⁻² –2,2 · 10 ⁻³
C	3,0 · 10 ⁻² –2,3 · 10 ⁻⁴				
Si	5,3 · 10 ⁻³ –2,4 · 10 ⁻⁴	Mg	7,3 · 10 ⁻³ –сл.	Mg	4,2 · 10 ⁻³ –0
Fe	$n \cdot 10^{-3}$ – $n \cdot 10^{-4}$	Ca	6,8 · 10 ⁻³ –3,4 · 10 ⁻⁴	Si	3,8 · 10 ⁻³ –5,2 · 10 ⁻⁴
Al	$n \cdot 10^{-3}$? $n \cdot 10^{-4}$	K	4,5 · 10 ⁻³ –8,4 · 10 ⁻⁴	Ca	3,0 · 10 ⁻³ –5,6 · 10 ⁻⁴
		Si	3,5 · 10 ⁻³ –5,2 · 10 ⁻⁴	Fe	$n \cdot 10^{-3}$ –сл.
		Fe	$n \cdot 10^{-3}$ – $n \cdot 10^{-4}$		
		Al	$n \cdot 10^{-3}$? $n \cdot 10^{-4}$		
				Al	$n \cdot 10^{-4}$?–сл.

¹ Из SO₄²⁻ (до 1,7 · 10⁻¹, может быть 4,3 · 10⁻¹ % (CO₃²⁻ (до 1,2 · 10⁻¹), SiO₂ (до 6,7 · 10⁻²), Al₂O₃ + Fe₂O₃ (до 1,3 · 10⁻² %). CO₂ не определено, органические кислоты тоже.

² Из SO₄²⁻ (до 7,6 · 10⁻³), CO₃²⁻ (до 1,9 · 10⁻¹), SiO₂ (до 2,5 · 10²), Al₂O₃ + Fe₂O₃ (до 2,7 · 10³). CO₂ и органические кислоты не приняты во внимание.

³ Если принять SO₄²⁻ max. 1,7 · 10⁻¹, то S, 6,0 · 10⁻² %.

⁴ Из SO₄²⁻ (до 8,3 · 10⁻²), CO₃²⁻ (до 2,9 · 10⁻¹), SiO₂ (до 8,1 · 10⁻³ %). CO₂ и органические кислоты не приняты во внимание.

Глубины, откуда добыты эти воды, – разные. Соленые происходят из скважин глубиной 215–1082 м, горько-щелочные (II) доходят до 1146 метров, солено-щелочные (III) до 1387 метров.

Несколько соленых вод представляют рассолы и потому не входят в эту таблицу. Как видно из указанных здесь данных глубин скважин, появление рассолов не связано с глубиной скважин. Глубина рассольных буровых нефтяных вод тоже не может объяснить их появления; она не велика – 370 метров. Рассолы слабые, на границе соленых вод (до 6,4% плотного остатка).

К совершенно иному виду принадлежат нефтяные буровые воды Ухтинского края. Это подымающиеся в метаморфических породах воды, по-видимому заполнения пустот, воды подземных водоемов.

Совершенно особняком стоит вода пермских отложений Соликамска, недавно анализированная С.С. Наливкиным (1929). К сожалению, в ней не

определены ни газы, ни нефтяные кислоты. Ее состав $\text{NH}_4\text{-SO}_4\text{-Cl}$, и она – если бы не концентрация – напоминает пресные воды вулканического происхождения.

819. Для нефтяных буровых вод недавно выяснилось их исключительное богатство изотопами радия – радием и мезоторием первым. Явление еще находится в стадии изучения; еще не ясно содержание в этих водах урана и тория, но богатство изотопами радия бесспорно.

Именно здесь, среди нефтяных вод, встречены воды с максимальным содержанием радия – порядка от 10^{-8} до 10^{-10} %, причем мы имеем эти указания для таких разнообразных бассейнов – по возрасту и геологическим условиям – как Бакинский, Грозненский, Берекейский, Челекенский, Нафтедагский, Эльзасский (Гейдельберг), Ухтинский, Ферганский, Дагестанских Огней и др. Эти воды идут уже для добычи солей Ra и MsTh I.

Однако воды не всех нефтяных районов богаты радием. Сальянский район в Баку и Майкопский район такой концентрации не дают (меньше $1 \cdot 10^{-12}$ % Ra). Геологически это вероятно другие воды. Для Майкопа это по-видимому несомненно. Эти факты очевидно не нарушают общего вывода о концентрации Ra в нефтяных водах, но указывают, что явление недостаточно четко изучено. Может быть существует природное равновесие радия между

нефть \rightleftharpoons пластовые воды

Вопрос будет решен, когда будет выяснено нахождение радия и урана в самих нефтях, что до сих пор неясно.

Ни одна из восходящих вод – минеральных источников или вод вулканических – не дает такой концентрации радия. Наблюдалась максимальная порядка 10^{-11} %. Единственно только одна из португальских вод – среди месторождений урановых руд в Гуардиа – входит в ту же категорию (дает до 10^{-9} % Ra). Скважина в рудном месторождении радия в Иоахимове дает % Ra – $2,4 \cdot 10^{-11}$ %, по М. Бегоуну. Ни одна поверхностная вода или пластовые воды других типов не дают таких концентраций; в них мы наблюдаем концентрации 10^{-12} – 10^{-13} % Ra.

Явление только что начинает изучаться – оно вероятно выяснит очень многое не только в генезисе нефти, но и в истории радиоактивных элементов.

Уран и торий в этих водах не найдены, но найдены ThX, что указывает на идущее на наших глазах, вновь создаваемое равновесие, так как ThX существует только дни. На то же самое указывает брэнность атомов Ra и MsTh – радий существует около 2000 лет, а мезоторий меньше 10 лет: они постоянно возобновляются, мигрируют в воды – мигрируют как разного происхождения изотопы. То же наблюдается в рассолах еще резче.

Открывается огромная и важная область новых явлений.

820. *Почвенные и иловые воды.* Следующее подцарство подземных соляных вод – подцарство почвенных и иловых вод – с точки зрения знания количественного химического их состава очень мало выяснено, несмотря на огромное практическое его значение.

По-видимому, может считаться установленным, что главная масса всех почвенных вод принадлежит к классу вод соленых, принимая установку этой книги, – т.е. что их солевой остаток превышает $1,0 \cdot 10^{-10}$ %. Во всяком случае

во всякой почве он должен превышать эту цифру в сухое время или в определенные теплые периоды года, бедные осадками. Но, как уже указано раньше (§ 681), – мы не имеем возможности дать сейчас числовые данные – хотя, как я указывал, путь решения найден, и в ближайшие годы нужные данные получатся и сильно изменят наши современные представления.

Пока, как пример, можно привести почвенный раствор, выделенный давлением. Он дает некоторое понятие о составе этих вод (П. Эренберг и И. Ван Циль, 1917). Это соленые воды состава $O-C-(Na)-Ca-S$, они богаты органическими веществами. Так как органическое вещество не анализировано точно и его элементы условно включены в господствующие компоненты, то этот состав не дает полного понятия о составе этих вод. Увеличатся при включении органических веществ C , N и H .

821. Для некоторых классов почв – для *солонцов* в обычном понимании этого слова – казалось бы и эти данные с некоторой долей вероятности могли бы быть даны уже сейчас. Здесь возможно с некоторой осторожностью пользоваться водными вытяжками.

Здесь мы имеем воды, богатые *сульфатами* (отдельно Na и Ca), *галоидами* (Na и реже Ca), *карбонатами* (Na и Ca), нитратами. Карбонатные (Ca и Na), по-видимому, преобладают. Хлористо-кальциевые, по-видимому, являются рассолами. Не заключающие карбонатов воды наблюдаются как будто реже.

Но такие вытяжки не дадут нам никакого точного понимания воды солонца, значительно более концентрированной, чем это видно в водных вытяжках, даже в самое дождливое время. Огромной важности органическое вещество, частью легко переходящее в коллоидный раствор, при таком изучении исчезает из рассмотрения.

Пока безопаснее оставить в стороне водные вытяжки и в этом частном случае.

Надо ждать анализа выжимок или иных захватов почвенного раствора солонцов.

Элементарный раствор солонцов не может ограничиваться одними легко растворимыми солями; важны коллоиды.

822. Может быть водные вытяжки могут дать, однако, понятие об аналогичном явлении для поверхностных вод, не связанных с почвой в обычном ее понимании.

Аналогично тому, что мы видели для пресных вод, и здесь наблюдаются их соленые аналоги в областях, где едва ли можно говорить о настоящей почве – в областях безжизненных или угнетенной жизни (особенно жизни микроскопической) – в областях пустынь и вечного льда и снега.

Все эти воды очень мало изучены. Вероятно, детальное исследование позволит выделить новые виды.

Сейчас это почти что *terra incognita*.

Совершенно неизученными являются *подпочвенные* воды, существование соленых видов среди которых кажется мне неизбежным. На значение изучения этих вод уже указывалось (§ 666).

823. Почвенные растворы, поддерживая жизнь и давая возможность существования зеленой неземной растительности, являются очевидно основным элементом механизма биосферы, ее суши. Не меньше, если не большее

значение имеет в геохимии и в геологии семейство *иловых соленых вод*. Оно покрывает все дно океанов и морей, а равно соленых водоемов суши.

Таким образом, в виде ли почвенных и иловых растворов суши (в значительной части пленочных и волосных вод) или морских иловых вод, воды этого подцарства покрывают наш земной шар непрерывной тонкой пленкой.

В отличие от окисленной, богатой свободным кислородом среды почвенных растворов, лишь временами дающих мощные покровы (лессы и делювиальные суглинки), а такой же среды подпочвенных растворов иловые воды – воды восстановительные; они играют огромную роль в создании биогенных руд и минералов. Они же дают начало той воде, которая входит в состав вод осадочных пород, образовавшихся из морских и наземных илов путем диагенезиса. Горные породы этого типа, связанные в своем генезисе с солеными водами (илами) суши, огромного значения в биосфере, все же ничтожны по массе по сравнению с морскими осадочными породами.

Как уже указано, только морские иловые воды входят в состав пластовых вод и волосных вод стратисферы (§ 86). *Океанические иловые воды*, т.е. воды главной площади дна гидросферы, нам не только пока совершенно неизвестны, но нет никаких следов их участия в создании осадочных пород.

Характер уголекислоты в них очевидно указывает, что это должно быть воды особого рода.

824. В строении и в свойствах вод почвенных и иловых огромную роль играют биогенные миграции и первым делом биогенная уголекислота.

Для почвенных вод, по-видимому, уголекислота (биогенная) господствует и определяет их подкласс: это надо заключать на основании состава почвенного воздуха, в котором иногда уголекислота резко преобладает и обычно одного порядка с количеством азота. Почвенный воздух имеет состав $\text{CO}_2\text{-N-O}_2$ или $\text{N}_2\text{-CO}_2\text{-O}_2$ в отличие от тропосферы состава $\text{N}_2\text{-O}_2$.

Для иловых вод, как указано, кислород, уменьшающийся уже в донной воде, сходит на нет, и эти воды должны относиться к подклассу $\text{N}_2\text{-CO}_2$ или $\text{CO}_2\text{-N}_2$. К сожалению, анализов нет. Для илов суши кислород должен играть несколько большую роль.

Подклассы, богатые CO_2 , могут быть в холодных слоях морской и океанической воды характерны только для мелких частей бассейнов.

Глубже начинают появляться своеобразные свойства уголекислоты, для которой воды океанов и большинства морей отвечают полям устойчивости ее жидкой фазы. Так или иначе газообразная уголекислота из таких иловых вод должна исчезать, и эти воды могут принадлежать только к подклассам N_2 , $\text{N}_2\text{-H}_2\text{S}$, $\text{N}_2\text{-CH}_4$.

Все биогенные процессы должны здесь идти по-иному, но как – мы не знаем.

Во всяком случае ясно, что необходимо отличать по крайней мере три резко разных семейства *иловых соленых вод* – *иловые воды морские*, *иловые воды океанические* и *иловые воды наземных соленых водоемов*. Вторые совершенно неизвестны, третьи – наиболее разнообразны, а первые – очень мало химически изучены.

Этих вод тоже, по-видимому, должно существовать много в связи с разной температурой, флорой и фауной, населяющих илы.

Должно существовать для низких температур и различие в связи с термодинамическим полем уголекислоты. Здесь резких изменений надо ждать для глубин уже с 300 м (30 атм. давления и температуре около 0°), и за пределами критического давления уголекислоты – 730 м – своеобразный характер этих вод должен проявляться особенно резко.

Перед нами огромная область неизученных явлений.

825. Как раз сейчас действенное внимание геохимиков и океанографов в нашем Союзе обращено к количественному изучению состава морской и океанической иловой воды. В ближайшее время, можно думать, будут в нашем рапоржении точные данные.

Это воды Cl–Na, подкласса N_2 – CO_2 , отличающиеся другим отношением компонентов, катионов, обогащенные отдельными элементами, U, по-видимому, As, J и т.д.

К сожалению, нельзя дать точные цифры и для *иловых вод резко отграниченных морей*. Даже такие иловые воды, как целебные грязи побережья Балтийского моря и его островов, химически изучены недостаточно, полных анализов нет, и самые важные составные части – органические вещества – качественно не выяснены. Очень часто берутся и анализируются водные вытяжки, подобно почвам так же мало дающие понятия о составе этих вод, как мало понятия они дают о составе почвенных растворов. Это в общем напрасный и ненужный труд.

Для илов необходимы анализы вод, выделенных центрифугами или отжатых. В илах около Ливавы в водные вытяжки переходит очень много органического вещества (И. Купцис, 1927).

В последние годы значение химического исследования всех этих вод и их отличия от основной морской воды стало ясным, и надо думать, что скоро будут собраны новые количественные данные и наше понимание морских иловых вод резко изменится.

826. Своеобразный вид иловых вод представляют *иловые воды лиманов*, отличающиеся еще более, чем сама лиманная вода, от соответственной воды моря. Это связано с мощными биохимическими процессами, идущими в грязях лиманов. По-видимому, эти воды различны в разных слоях, из которых состоит грязь лимана, и находятся в стадии быстрого изменения – перехода в волосные воды осадочных пород. Слабое понятие об этих водах могут дать многочисленные водные вытяжки – легко растворимых в воде частей – лиманной грязи Черного и Азовского морей.

Мне кажется, этот тип анализоз, стоящий больших денег и огромного труда, надо прекратить и перейти к более точному исследованию продуктов центрифуг или выжимок из иловых вод.

То же самое относится, как я много раз указывал, и к почвенным вытяжкам. Здесь мы видим устанавливающуюся рутину неправильной научной работы.

Мне представляются все выводы из так неправильно поставленной задачи недостоверными. Надо эту форму работы прекратить.

827. Еще резче и разнообразнее, чем для морских иловых вод, должны проявляться разные виды в иловых водах сточных озер.

Наши знания здесь ничтожны, но очевидно главные виды вод соленых озер (например, Na–Cl, Na–C–O, Na–S–O и т.п.) должны иметь свои собственные аналоги, свои особенные виды в своих иловых представителях.

Дело будущего – выяснение этого явления.

828. Отдельно от этих илов должны быть поставлены *илы других поверхностных вод* – болот, топей, источников, минеральных источников.

Эти илы местами пронизаны не солеными водами, а рассолами.

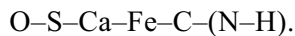
Они тоже мало изучены. Характерно для них большое содержание органических веществ (химически почти неизученных).

Все указывает, что мы имеем здесь много разных видов вод.

К сожалению, имеющиеся хорошие анализы часто относятся к илам, употребляемым для медицинских целей, т.е. не к нетронутому культурным воздействием природному явлению, а к явлению, измененному – иногда очень сильно – человеческими потребностями главным образом с лечебными целями. Даже в тех случаях, когда исследуется природное явление, состав иловой воды выражен в такой форме, что не дает возможности правильно судить о концентрации природной воды.

Можно – и то не часто – пока дать общее качественное представление о составе и порядке концентрации компонентов раствора. К сожалению, я не мог найти анализов, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к научному химическому анализу природного тела.

В случае *торфяных иловых вод* – это кислые, *богатые кальцием, железом и гумусом, сульфатные воды*. Их формула будет:



Необходимо обратить внимание на отсутствие точных научных количественных данных для этой практически важной группы иловых вод.

Пора обратить внимание на эту запущенную в научной работе область явлений.

829. Можно отметить здесь ряд резко различных семейств, характеризующих определенные геохоры.

Очень большая область разнообразных проявлений этого рода связана с приливами и отливами и с вековым отходом моря – с озерами морского происхождения. Ее правильнее относить к проявлениям морской или океанической воды, хотя в этих водах проявление явлений суши преобладает над проявлением моря.

Соленые болота этого типа – со своей особой жизнью и со своей особой иловой водой – облакают значительную часть морского побережья суши и островов. Химически эти воды не изучены. В области сухого и жаркого климата они переходят в рассолы.

830. Особое место занимают *иловые воды*, связанные с выходом на земную поверхность – в биосферу, – *минеральных источников*. Одним из ярких примеров таких вод, создающихся в результате взаимодействия верховодок в аллювиальной речной долине (реки Вага, притока Дуная) и мощного минерального источника, выходящего из миоценовых песчаников и берущего свои составные части частью из осадочных пород (преобладают известняки и доломиты), частью из кислых массивных пород [О. Гинье (Hynie), 1927–1933], являются иловые воды грязей Пещан в Словакии. Температура минеральных вод достигает 67°. В секунду главный источник дает 40 л (все выходы – многие сотни л), площадь центрального грязевого резервуара с температурой выше 50° занимает 10 000 м².

Состав этой иловой воды и минерального источника Пещан виден из следующих чисел анализов (д-ра Веселаго, 1930) (вес. %):

Источник Trajani–Beneshoviani

Иловая вода источника Cralo v. Krafft-heim

O–Ca–S– Cl–(C– Na)¹

O–Ca–S²

Уд. в. 1,00136

3808 г. сырой грязи. Растворена в воде при 60°

Плотный остаток $1,54 \cdot 10^{-1}$

Плотный остаток 1,03

Элементы:

				O ³	$3,3 \cdot 10^{-1}$
				Ca	$1,4 \cdot 10^{-1}$
				S ⁴	$1,0 \cdot 10^{-1}$
O ⁵	$6,8 \cdot 10^{-2}$	H ⁸	$6,1 \cdot 10^{-4}$		
Ca	$2,2 \cdot 10^{-2}$	Sr	$2,5 \cdot 10^{-4}$	C	$2,8 \cdot 10^{-2}$
S ⁶	$1,7 \cdot 10^{-2}$			Mg	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Cl	$1,1 \cdot 10^{-2}$	B ⁹	$7,7 \cdot 10^{-5}$		
		Br	$4,1 \cdot 10^{-5}$	Cl	$9,8 \cdot 10^{-3}$
C ⁷	$9,7 \cdot 10^{-3}$	Li	$3,6 \cdot 10^{-5}$	K	$9,1 \cdot 10^{-3}$
Na	$7,8 \cdot 10^{-3}$	N ¹⁰	$2,2 \cdot 10^{-5}$	Si	$4,6 \cdot 10^{-3}$
Mg	$4,4 \cdot 10^{-3}$	Al	$1,5 \cdot 10^{-5}$	Следы N, P, Fe	
Si	$2,0 \cdot 10^{-3}$				
K	$1,4 \cdot 10^{-3}$				
		Fe	$8,4 \cdot 10^{-6}$		
		J	$7,2 \cdot 10^{-6}$	Органические вещества	$1,1 \cdot 10^{-1}$
		P ¹¹	$7,1 \cdot 10^{-6}$	Тиосульфаты – следы	
		Mn	$1,8 \cdot 10^{-6}$		

Свободно выделяющиеся газы (в объемн.%)

N ₂	71,7
CH ₄	17,8
CO ₂	10,5
O ₂	0

¹ Очевидно, это смесь двух вод–O–Ca–S верховодки азотно-углекислой и минерального источника Cl–Na–Ca (азотного?).

² Должно быть азотно-углекислый.

³ Из SO₄²⁻, CO₃²⁻.

⁴ Из SO₄²⁻.

⁵ Из NO₃¹⁻ ($1,1 \cdot 10^{-4}$), HBO₂¹⁻ ($3,1 \cdot 10^{-4}$), SO₄²⁻ ($5,2 \cdot 10^{-2}$), HCO₃¹⁻ ($2,7 \cdot 10^{-2}$), CO₂ ($2,2 \cdot 10^{-2}$), HPO₄²⁻ ($2,2 \cdot 10^{-5}$), H₂SiO₃ ($5,9 \cdot 10^{-3}$).

⁶ Из SO₄²⁻, свободный H₂S ($3,5 \cdot 10^{-4}$), связанный H₂S ($9,1 \cdot 10^{-5}$).

⁷ Из CO₃²⁻, HCO₃¹⁻.

⁸ Из H₂S связанный, H₂S свободный, HBO₂¹⁻, HCO₃¹⁻, HPO₄²⁻, H₂SiO₃.

⁹ Из HBO₂¹⁻.

¹⁰ Из NO₃¹⁻. Растворенный N₂ и органическое вещество не учтены.

¹¹ Из HPO₄²⁻.

831. Воды включений. Для подцарства волосных вод горных пород и минералов наши знания еще меньше, чем для пресных их разностей (§ 716).

Два семейства могут здесь уже сейчас быть выделены. Во-первых, волосные (пленчатые?) воды, которые проникают все породы и минералы. Об этих соленых водах мы ничего не знаем.

Во-вторых, *воды включений*. Для включений в кварце некоторые данные даны Г. Сорби (1858). Это соленые воды, заключающие Ca, Na, K, Cl, SO₄, реже CO₂ – характерной их особенностью является нахождение свободных кислот HCl и H₂SO₄. Есть воды с преобладанием Na–Cl и Na–SO₄.

Карбонатные воды наблюдаются реже. Есть переходы в рассолы. Необходимо обратить внимание на эти воды.

Класс рассольных вод

832. Общие данные. Последнюю группу вод составляют *рассолы*. Хотя нижняя их граница – 5 % твердого остатка – принята условно (§ 215), мы ясно видим их совершенно своеобразное строение.

Это *воды тяжелые*, малоподвижные. Их удельный вес в известных нам случаях достигает 1,2–1,3, т.е. увеличивается больше, чем на 25–30% по сравнению с пресными водами. Вероятно, в более глубоких горизонтах земной коры он еще выше, еще более отличается от удельного веса чистой воды. Высокая температура этих вод (до 90° и выше для пластовых вод, например) делает их более подвижными.

Это увеличение удельного веса является очень важным и основным явлением. Оно указывает на резкое изменение состава раствора: раствор все более и более переходит в *гидрат*.

Отсюда следует, что есть *предел концентрации рассолов* и этот предел определяется, с одной стороны, химическими свойствами жидкой воды – теми богатыми водой гидратами, которые образуются входящими в их состав солями и определяются существующими между ними равновесиями. По-видимому, 40% компонентов вне молекулы воды, к которым близка максимальная концентрация природных растворов, уже отвечает не раствору, а смеси богатых водой гидратов, смеси, находящейся в *жидком сдавленном состоянии*.

В предельном случае все молекулы воды рассола захвачены в молекулярные гидратные группы: свободных молекул воды в системе нет. Эта система уже не является в сущности раствором.

Природные рассолы – да и рассолы вообще – не изучены с этой точки зрения.

Несомненным мне кажется, что в продуктах глубинных растворов мы встречаемся в земной коре и с другим явлением.

На некоторой глубине (немногих километров) достигается температура, когда гидрат не может существовать – даже при больших давлениях, там проявляющихся, – *в жидком состоянии*, – он переходит в *газообразное состояние*, должно быть в *аэрозоль*, где водяной пар выше критической точки чистого окисла водорода меняет свою химическую функцию – становится кислым ангидридом – входит в комплекс с SiO₂ и Al₂O₃ (в этих областях господствующих) – и не связан с металлами.

Получается своеобразная форма перегретых сжатых, «газообразных» растворов, продуктами которых являются минеральные образования мета-

морфических геосфер, не являющиеся результатом метаморфического изменения массивных пород.

Физическое состояние этой среды научно сейчас не охвачено ни экспериментом, ни теоретической мыслью.

Мы – в пределах принятой в книге химической классификации – можем без всяких противоречий в области изучаемых нами явлений оставить в стороне эти углубленные представления и ограничиться тем же геохимическим определением рассолов, каким мы пользовались для пресных и соленых вод: весом и числом атомов химических элементов.

833. Основное деление по газам здесь выдерживается довольно резко: есть ряды вод *кислородных* и *бескислородных*. Среди обеих отдельно могут быть поставлены бедные и богатые углекислотой. Во всех водах играет большую роль азот. По-видимому, в более глубоких рассолах, температура которых выше 31°, увеличивается значение растворенной углекислоты. Это выявляющееся сейчас обстоятельство требует внимания.

Мы имеем здесь в конце концов следующие *подклассы рассолов*:

I. *Кислородно-азотные.*

II. *Кислородно-азотно-углекислые.*

III. *Азотные.*

IV. *Азотно-углекислые.*

В I, II и III можно отделить в целом ряде случаев разности *сероводородные*. *Метановые* подклассы этих вод несомненно существуют, но очень мало обращали на себя внимание и не изучены. Еще менее внимания обращают воды, богатые более тяжелыми газообразными *углеводородами*, сопровождающие нефтяные месторождения.

То, что указано раньше для углекислоты, существует и здесь, может быть в еще большей степени, чем для соленых вод. Бедные ею кислородные воды очень редки, и в действительности II подкласс характерен для всех рассолов биосферы.

834. В рассольных водах мы встречаемся впервые с изменением значения подцарств – явлением, которое резко выступает на первый план в царстве вод глубинных, где вероятно царят одни рассолы, резко отличные от всего, что до сих пор наблюдается среди изученных вод.

Вероятно *рассолы* – этот наименее нам известный класс природных вод – *есть по существу самое характерное выявление единого водного равновесия нашей планеты.*

Существование подцарств *рассольных волосных вод* и *рассольных минеральных вод* может подвергаться сомнению, и может быть дальнейшее исследование докажет их существование только в виде немногих представителей в отличие от того, что мы наблюдаем в классах пресных и соленых вод.

Рассольные воды еще менее изучены, чем соленые воды. Про «волосные рассолы» мы ничего точного не знаем, и само их существование не может считаться установленным.

Точно также и для почвенных растворов рассолы (больше 5% солевого остатка) должны быть или очень редки, или существовать временами, например, в засушливое время. Возможно, однако, что для гигроскопических солонцов, например богатых CaCl_2 , как раз обычны такие воды.

Допустимо увеличение органических соединений в некоторых почвенных растворах, отвечающих этим путем этому классу.

В *поверхностных водах* рассолы движущихся вод – рек – очень редки. Преобладают резко *рассольные озера*. Среди *подземных вод* отходят на дальний план, относительно редкие, восходящие воды, а являются преобладающими *пластовые воды*. По-видимому, по мере углубления в слои стратиферы и приближения к метаморфической геосфере пластовые воды и воды подземных водовместилищ все становятся рассолами, причем, как уже указывалось, в них увеличивается значение *кальция* по сравнению с натрием.

По-видимому, мы сейчас знаем для подземных вод только немногие виды рассолов из многих.

Вопрос о положении рассолов в глубоких горизонтах напорных вод, несмотря на все его значение, сейчас не охвачен теоретической мыслью. Сейчас здесь не собран и критически не обработан и эмпирический материал.

В *восходящих водах* рассолы отсутствуют для вод, связанных с вулканами и с грязевыми сопками, а среди минеральных источников являются редким типом, почти исключительно связанным с Na–С1 водами.

На этом общем фоне существуют менее распространенные рассольные воды, чрезвычайно мало сейчас охваченные научной мыслью и не входящие в господствующие пока типы.

Есть рассолы культурного происхождения, например, некоторые из *рудничных вод*; рассолами являются воды некоторых морей или их участков (например, воды Красного моря) и т. п.

В дальнейшем изложении будут указаны некоторые из более известных сюда относящихся вод.

Огромно должно быть значение глубинных вод. Здесь не только не собраны аналитические химические данные, которые почти всегда будут косвенными, но не охвачен логическим научным анализом огромный уже имеющийся точный материал, главным образом связанный с учением о метаморфизме.

Я вернусь к этому во 2-й части книги, здесь же коснусь данных явлений хотя и очень кратко.

835. Обратимся к поверхностным рассолам. Среди них небольшую группу, но очень определенное явление, представляют *морские рассолы*, связанные с отделением от морей участков или в виде озер, или же в виде слабо или временами соединенных с морем разного типа заливов. Наконец, временами значительные участки моря под влиянием усиленного испарения в сухих жарких местностях на всем протяжении или в более мелких, более подвижных местах превращаются в рассолы, – так, например, это явление очень часто наблюдается для поверхностных вод Красного моря.

Процессы отщепления прибрежных водоемов от морей и образования рассолов, – а потом *самосадочных бассейнов*, идут постоянно, особенно в более жарких местностях, в которых испарение превышает осадки и в тех случаях, когда в эти отщепленные части не впадают реки или ручьи.

Самосадочными бассейнами называются такие бассейны, в которых концентрация достигает такой силы, что начинают выкристаллизовываться в определенном порядке соли.

Явление это, совершенно закономерное для морей, было впервые изучено молодым итальянским, рано умершим, химиком И. Узилио в 1849 г., а позже, уже в свете новой физической химии в конце XIX – начале XX в. выражено в форме определенных законов, точно сводимых к геометрическим

поверхностям – Г. Вант-Гоффом и его учениками (§ 453 и сл.), развитых позже в работах Н.С. Курнакова и его школы.

Явление это неизменно повторяется во всех геологических эпохах, что доказывает неизменность в течение геологического времени состава морской воды.

Этот процесс самосадочной концентрации моря при замирании морских бассейнов играет огромную роль в истории солевых отложений, по крайней мере от кембрия до современного нам геологического времени.

836. Я могу лишь остановиться на этом процессе в самой малой степени.

И. Узилио делал опыты над водой Средиземного моря. По мере концентрации воды начинается выпадение из нее менее растворимых составных частей – сперва выпадает окись железа (гематит?), потом кальцит (CaCO_3), гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), галит (NaCl) и остается – после выделения главной части хлористого натрия – *маточный рассол*, являющийся исходным телом для образования залежей природных магниальных и калиевых солей, связанных в своем генезисе с океаном и с морями.

Из морской воды Средиземного моря (I) (вес. %) получился маточный раствор – рассол (II).

Вот эти числа.

<i>Средиземное море</i>			
I		II	
<i>Морская вода</i>		<i>Маточный рассол</i>	
Cl–Na		Cl–Mg–Na–O–S–K–Br	
<i>Плотный остаток:</i>			
4,12–3,84		29,4	
<i>Элементы:</i>			
Ca	2,5–2,1	Cl	19,4
Na	1,3–1,2	Mg	5,4
		Na	5,2
		O ¹	4,7
		S ²	2,3
		K	1,3
		Br	1,1
O ³	$2,8 \cdot 10^{-1}$		
Mg	$1,6 \cdot 10^{-1}$ – $2,6 \cdot 10^{-1}$		
S ⁴	$1,1 \cdot 10^{-1}$ – $9,9 \cdot 10^{-2}$		
Ca	$4,9 \cdot 10^{-2}$ – $4,6 \cdot 10^{-2}$		

¹ Из SO_4^{2-} , CO_2 и CO_3^{2-} не приняты во внимание, так же как и растворенный воздух.

² Из SO_4^{2-} .

³ Из CO_3^{2-} (max. $7,7 \cdot 10^{-2}\%$), SO_4^{2-} (max $2,79 \cdot 10^{-1}\%$). O₂ растворенный и CO₂ не приняты во внимание. Так же не учтено органическое вещество.

⁴ Из SO_4^{2-} .

К	$4,6 \cdot 10^{-2}$
С ⁵	$1,6 \cdot 10^{-2}$ – $1,4 \cdot 10^{-2}$
Br	$7,4 \cdot 10^{-3}$ – $6,1 \cdot 10^{-3}$

⁵ Из CO_3^{2-} · CO_2 и органическое вещество не учтены.

Ряд таких или аналогичных рассолов наблюдается вдоль морей, где человек создает их искусственно или где часто без его участия отделяются мелкие участки моря, вода которых медленно концентрируется.

Состав этих рассолов будет несколько иной, так как процесс в природе идет более медленно и химически иначе, чем в опыте Узилио, а главным образом потому, что связан с длительным влиянием проникающей морскую воду жизни.

837. Особый тип морских рассолов представляют *лимань*.

От соленых лиманов есть все переходы в рассольные лиманы. Различие воды лиманов – например, лиманов Черного моря – от морской воды отчасти зависит, как это указал А.А. Вериге (1880), от того, что морская вода смешивается с водой речной пресной, несущей $\text{Ca}-\text{CO}_3$. С другой стороны, морская вода в прибрежном песке дна и стенок лимана фильтруется, смешиваясь с наземной пресной водой, богатой CaCO_3 , и входит в лиман уже обогащенная известью, содержа CaSO_4 . При концентрации воды лимана и превращении соленой его воды в рассольную избыток гипса может выделяться из лимана. Аналогичные процессы как раз идут в лиманной грязи, своеобразном образовании, переполненном биохимическими явлениями. Грязь химически активна, меняет состав воды лимана – всегда мелкого.

От *лиманов*, связанных с реками, должны быть отделены *лагуны* и *соляные болота*, представляющие другую черту изменений береговых очертаний.

Они химически не изучены. Рассолы здесь сосредоточены в сухих жарких областях.

838. Особый вид рассольных морских вод представляют рассолы при замерзании *морского льда*, постоянно образующегося, непрерывно существующие в приполярных странах.

Нигде не собираясь в больших бассейнах, этот вид рассолов в действительности захватывает большие массы воды. Он получается при реакции:



Состав рассола, отношения между его компонентами, изменен по сравнению с исходной морской водой.

839. Из *поверхностных рассолов суши* наибольшее значение имеют *рассольные озера*.

Рассольные реки и *ручьи* встречаются в сухих пустынных областях, но особого значения не имеют. Они частью представляют рассольные текущие воды в областях, богатых солонцами и рассольными озерами, отчасти связаны с солеными (рассольными) источниками, выходящими на поверхность.

Это тяжелые своеобразные воды. По-видимому, мы имеем два резко различных их вида:

- 1) более бедные солью (всегда преобладает NaCl), являющиеся как бы крайними членами соленых рек, и
- 2) концентрированные рассольные текучие воды, образующиеся в особых условиях.

По существу это все же всегда маломощные мелкие «реки». Следующие числа дают понятие о их воде (вес. %):

<i>Рассольные реки</i>			
Cl–Na–Mg			
Плотный остаток 8,6–5,1			
<i>Элементы:</i>			
Cl	4,9–1,4	S ²	$5,3 \cdot 10^{-1}$ – $3,3 \cdot 10^{-2}$
Na	3,0–1,2	Ca	$2,1 \cdot 10^{-1}$ – $3,7 \cdot 10^{-3}$
O ¹	$1,5 \cdot 10^{-1}$ – $5,9 \cdot 10^{-2}$		
Mg	$1,0 \cdot 10^{-1}$ – $1,4 \cdot 10^{-1}$	C	$8,7 \cdot 10^{-2}$
K	$5,4 \cdot 10^{-1}$ – $2,5 \cdot 10^{-2}$	H	$7,2 \cdot 10^{-3}$

¹ Главным образом из SO₄²⁻ (до 1,6%), HCO₃¹⁻ (до 4,4 · 10⁻¹). Ни растворенные CO₂ и O₂, ни органические вещества не учтены.

² Из SO₄²⁻. Органические вещества не учтены.

Морфологические явления этого рода проявляются очень разнообразно. Соленые ручьи образуются очень быстро, например, при размывании соленых залежей – в соляных коях под влиянием деятельности человека. Ручьи в разработке соли Велички содержат до 28,5% NaCl.

840. Наиболее распространены и наиболее разнообразны *рассольные озера*, непрерывно проходящие иногда реально в своей геологической истории через соляные озера в озера пресные. Часть этих рассольных озер связана с морскими концентратами, часть – с вторичным растворением соляных залежей, часть – с своеобразными процессами, независимыми от морской воды и связанными с процессами выветривания в областях сухого климата, в пустынях и в полупустынях.

Химическое различие, связанное с этими двумя различными процессами, – проявление *основной дисимметрии земной коры* – (§ 74 сл.) было ярко установлено Н. С. Курнаковым (1896), позже при участии С.Ф. Жемчужного (1916).

Соляная масса рассольных озерных вод, связанных с морской водой, отвечает составу самой *морской воды* и ее концентратам. Она проявляется уже в соленых водах и может быть характеризована следующим составом соляной массы:



Совсем другой состав имеют рассольные озерные воды, а отчасти и соленые – *суши*, в которых сульфаты отступают на второй план, фиксируются

и выходят из раствора с ионами кальция или же уходят в тропосферу, в виде сероводорода биохимическими процессами. Для CaSO_4 они часто насыщены. Соляная масса этих озер выражается следующим составом:



Эти основные черты двух разных процессов приводят к целому ряду своеобразных явлений. Отмежеванные от моря участки морской воды в конце концов переходят в рассольные воды второго типа.

Основную черту этого изменения – *выветривания*¹ – правильно указал А.А. Вериго (1880): это действие поверхностных богатых ионами CO_3^{2-} и HCO_3^- вод–создания жизни, организмов на просачивающиеся приморские верховодки суши, играющие такую роль в создании лиманных рассольных вод. Этим путем уходит из растворов [может быть в виде $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ – доломита] значительная часть магния, и солевая масса (I) переходит в солевую массу (II).

841. Одновременно (Н.С. Курнаков и С.Ф. Жемчужный, 1916) идет второй процесс, действующий в том же направлении, – поглощение и восстановление сульфатов – иона SO_4^{2-} – жизнедеятельностью бактерий. Сера уходит из озер в тропосферу в виде H_2S .

В связи с этим получает большое значение коэффициент k , названный Н.С. Курнаковым (1896), «коэффициентом метаморфизации соляных растворов».

$$k = \frac{\text{MgSO}_4}{\text{MgCl}_2}$$

Для Крымских и Черноморских соляных и рассольных озер отношение это равно 0,4–0,8. Для солевого состава морской воды 0,43.

Для соляных озер материка величина k уменьшается и в «типических соляных озерах материкового образования приближается к нулю» (Н.С. Курнаков и С.Ф. Жемчужный, 1916).

Рассмотрение того случая, над которым работал Н.С. Курнаков и его сотрудники, ясно показывает, что этот коэффициент зависит еще от каких-то причин, не принятых во внимание, так как k часто очень значительно (вдвое) превышает отношение для океанической (морской) воды.

842. Мы увидим, что и в дальнейшем процессы на суше далеко не идут только в направлении уменьшения величины k , связанного с уменьшением сульфатного иона, но и в направлении его *увеличения*, явно не связанного с исходной морской водой.

Поэтому исходная точка зрения в классификации соленых озер Н.С. Курнакова, явно недостаточна, как исходная для общей классификации. Она, например, не охватывает карбонатных озер – или таких, в которых выдвигается на первое место не натрий, а калий.

Но в то же время она отмечает характерную черту в строении биосферы – резкое различие между рассолами гидросферы и суши и закономерный

¹ Н.С. Курнаков, С.Ф. Жемчужный, а часто и другие говорят об идущей здесь *метаморфизации*. Согласно терминологии, очень распространенной и мной здесь принятой, изменения под влиянием жизни в тропосфере называются выветриванием.

переход морских рассолов в рассолы суши, как только они выходят из под влияния процессов гидросферы.

Два явления здесь очень характерны – уход сульфатов и увеличение значения CaCl_2 и MgCl_2 наряду с NaCl . Едва ли случайно, что то же самое явление наблюдается и для глубоких напорных вод, выходит за пределы биосферы.

Учитывая эти и другие правильности, я построю классификацию рассольных озер не на генетическом признаке, а на чисто химическом – подобно тому, как это имело место для озер соленых и пресных.

Рассольные, часто самосадочные, озера должны бы – могло казаться – постепенно меняться в своем составе, *высыхая*. Но этот процесс не есть тот, который мы изучаем в поверхностных рассольных озерах. Они представляют динамические равновесия – в течение исторического времени. Для ряда наших рассольных озер – в течение десятков если не сотен лет заметного изменения не наблюдается [для Тинакского озера например, по С.А. Шукареву (1929) в течение 50 лет].

843. *Рассольные озера* можно классифицировать на основании кислотных остатков – хлористые, сульфатные, карбонатные и т.д.

Остановимся прежде всего на *хлористых рассолах*.

Здесь мы имеем следующие виды, характеризующиеся господствующим комплексом солевого остатка:

1. Cl–Na:
2. Cl–Mg.
3. Cl–Mg–Na.
4. Cl–Ca–Na.
- и может быть 5. Cl–Mg–Ca–Na.

Не исключена возможность существования (в виде ничтожных скоплений, но не в виде соленых озер) и рассола Ca–Cl (§ 847).

Натровые и магниевые разности преобладают. Взявши во внимание все известные случаи, можно подобрать все переходы между хлористыми озерными водами (бедными сульфатами и карбонатами) с резким преобладанием натрия и обогащенными CaCl_2 и MgCl_2 ; граница между 1, 3 и 5 видами может быть проведена только условно. В известных физикогеографических условиях хлорнатровые озера реально переходят в озера Cl–Na–Mg и Cl–Na–Mg–Ca.

Поэтому я не разделяю здесь виды 1, 3 и 5 друг от друга, лишь подчеркивая, что преобладают *хлорнатровые озера, более бедные MgCl_2 и CaCl_2* .

844. Данные анализов (вес. %) следующие¹:

Cl–Na (и переходы: 3 и 5)²

Плотный остаток 40,7–5,4

Элементы:

Cl	24,4–2,6	N ⁶	$1,4 \cdot 10^{-1}$ – $1,8 \cdot 10^{-5}$
Na	12,1–1,8	H ⁷	$5,3 \cdot 10^{-2}$ – $5,9 \cdot 10^{-5}$
O ³	$6,8$ – $1,4 \cdot 10^{-2}$	J	$5,0 \cdot 10^{-2}$ – $9,0 \cdot 10^{-5}$
Mg	$3,2$ – $2,4 \cdot 10^{-4}$	B	$2,7 \cdot 10^{-2}$ – $0 \cdot (10^{-3})$
K	$2,6$ – $5,2 \cdot 10^{-3}$ (сл.)	Fe	$1,6 \cdot 10^{-2}$ – $7,7 \cdot 10^{-5}$ (сл.)

S ⁴	2,7–8,3 · 10 ⁻⁴	Si ⁸	1,4 · 10 ⁻² –2,8 · 10 ⁻⁴
Ca	1,7–0 (сл.) (5,0 ⁻²)	Rb ⁹	5,6 · 10 ⁻³
C ⁵	6,5 · 10 ⁻¹ – 7,4 · 10 ⁻⁴	Al	5,2 · 10 ⁻³ – 7,4 · 10 ⁻⁴
Br	2,5 · 10 ⁻¹ –7,9 · 10 ⁻⁴ (сл.)	Li	2,3 · 10 ⁻³ –(сл.) 2,0 · 10 ⁻⁴

P · 4,4 · 10⁻⁶

Есть Cs, Ba, Sr, Mn, Rn, Cu, Zn

Органические вещества до 1,5%.

pH 7,3

Щелочный комплекс 2 MgCO₃Mg(OH)₂?

Удельный вес до 1,175.

¹ Сюда помещены только озера, в которых Na/Mg не *больше* 3, а Ca/Na *меньше* 1.

² Есть переходы в соленые Na–Cl и, с другой стороны, в рассолы O–Na–Cl–S.

³ Растворенный O₂, CO₂ и органические вещества не приняты во внимание. SO₄²⁻ (до 5,6%), HCO₃¹⁻ (3,2%), NO₃¹⁻ (до 6,1 · 10⁻¹), B₄O₇²⁻ (до 3,0 · 10⁻²), CO₃²⁻ (до 4,5%).

⁴ Органические вещества не приняты во внимание. Из SO₄²⁻, H₂S max. (до 8,5 · 10⁻⁴%).

⁵ Из HCO₃¹⁻. Растворенная CO₂ и органические вещества не учтены.

⁶ Растворенный N₂ и органическое вещество не учтены, т.е. количество азота не может спуститься ниже порядка 10⁻³. Учтено: NO₃¹⁻ (до 6,7 · 10⁻¹%) и NH₄¹⁺ (до 3,8 · 10⁻³%). Белковый азот до 5,6 · 10⁻³%.

⁷ Органическое вещество не учтено. Из HCO₃¹⁻, NH₄¹⁺.

⁸ Органическое вещество не учтено. Из SiO₂.

⁹ Числа К. Шмидта; требуют проверки.

845. К другому типу – Cl–Mg – относятся только такие озера, в которых магний *преобладает* над натрием, а Ca:Na меньше 1.

В связи с сложными условиями жизни самосадочных озер всегда есть переходы в разные времена года между 2 и 3 видами (§ 843): в жаркое и сухое время рассол должен быть отнесен в класс Mg–Cl, в сырое и умеренное – в Mg–Na–Cl.

Есть переходы и в Mg–Na–Cl–SO₄.

846. Наибольшее рассольное озеро – *Мертвое море* в Палестине – 920 км² площади с 400 м максимальной глубины – началось в виде пресного озера в конце плиоцена или в начале постплиоцена. Оно лежит в глубокой тектонической трещине; уровень его на 392 м ниже уровня Океана. В историческое время никаких заметных изменений оно не претерпело: есть указания на повышение его уровня за последние десятки лет.

Это бессточная впадина, в которую вливаются пресные воды Иордана – в сутки 6,0–7,8 · 10⁶ т воды. Есть приток подземных вод.

В течение протекших сотен тысяч лет, пройдя через ряд тектонических потрясений и стадию большого соленого озера, уровень которого был на 30 м больше нынешнего – (больше 3000 км², по М. Бланкенгорну между Гюнцским и Миндельским временем) – в Рисское время Мертвое море получило нынешние размеры и вероятно стало рассольным.

Оно относится сейчас к виду озер Cl–Mg в значительной части своей воды. Отношения Mg:Na сильно колеблются в пределах 2,91–1,02 (I). Есть

анализы, указывающие для менее концентрированных вод состав Mg–Na–Cl, где Mg:Na равно 0,90–0,66 (II).

Следующие числа дают понятие о составе воды Мертвого моря (вес. %)

Мертвое море

I	II
Cl–Mg	Cl–Na–Mg
(9 анал.)	(4 анал.)

Плотный остаток:

29,8–17,4 23,9–18,8

Элементы:

Cl	19,8–11,5	Cl	15,2–12,4
Mg	4,2–2,5	Na	3,2–2,6
Na	3,5–1,3	Mg	2,9–2,3
Ca	1,7–3,7 · 10 ⁻¹	Ca	1,4–7,9 · 10 ⁻¹
Br	7,0 · 10 ⁻¹ –1,5 · 10 ⁻¹	K	7,7 · 10 ⁻¹ –4,4 · 10 ⁻¹
Mn	8,6 · 10 ⁻² –2,2 · 10 ⁻²		
O ¹	6,2 · 10 ⁻² –7,2 · 10 ⁻³	O ²	6,8 · 10 ⁻² –5,0 · 10 ⁻³
S ³	3,5 · 10 ⁻² –1,2 · 10 ⁻²	S ³	3,3 · 10 ⁻² –2,3 · 10 ⁻²
C ⁴	9,6 · 10 ⁻³ –4,8 · 10 ⁻⁴		

C⁴ 8,0 · 10⁻⁴– сл.

Fe 7,6 · 10⁻⁵

J 2,5 · 10⁻⁵

Есть Si, Al, NH₄, Fe

Есть Al, Si

Органическое вещество, содержащее N 5,2 · 10⁻³

¹ Из SO₄²⁻ (6,0 · 10⁻²%) CO₃²⁻ (до 4,8 · 10⁻²%), HCO₃ (сл.). O₂ и CO₂ и органическое вещество не учтены.

² Из SO₄²⁻ (до 1,0 · 10⁻¹%), CO₃²⁻ (до 4,0 · 10⁻³%). O₂, CO₂ и органическое вещество не учтены.

³ Из SO₄²⁻.

⁴ Из CO₃²⁻, CO₂ и органического вещества не учтены.

Воды Мертвого моря во многом своеобразны. Бросается в глаза существование вод Na–Mg–Ca [анализы Террейля (1,7–1,2% Ca) и Фридмана (1912)]. По-видимому, это воды поверхностные, и может быть их следовало бы выделить.

Но более всего замечательно богатство *бромом*, особенно в глубоких водах. Эта вода, должно быть, представляет особый подвид: Cl–Mg–Ca–Na–(Br).

Вот этот анализ (вес. %) [глубина 300 м, анализ Террейля (Terreil)]:

Мертвое море

III

Cl–Mg–Ca–Na–(Br)

Плотный остаток 26,0

Элементы:

Cl	17,5	Br	7,0 · 10 ⁻¹
Mg	4,1	K	4,4 · 10 ⁻¹

Ca	1,7	O	$4,0 \cdot 10^{-2}$
Na	1,4	S	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Есть C, Si			

847. В тип озерных вод, Cl–Na–Ca, я включаю только воды бедные магнием и сложными кислородными ионами.

Такие озера по-видимому характерны для пустынных и полупустынных областей Евразии, главным образом бессточных низменностей Средней Азии. Именно здесь имеются гигроскопические CaCl_2 – солонцы и в сорах образуются временные или постоянные Na–Ca–Cl воды.

Отдельную группу хлористых озерных рассольных вод составляют *богатые иодом озера*, связанные с нефтяными месторождениями. Эти воды сильно изменены культурной работой, так как в них попадают благодаря добыче нефти *буровые воды нефтяных месторождений*.

Относительно богатое в них содержание иода обратило на них внимание, но содержание в них иода колеблется в довольно значительных пределах – достигая до $5,5 \cdot 10^{-2}\%$ (Г. Уразов). В Бююк-Шорском озере (Апшеронский полуостров) оно колеблется от $1,6 \cdot 10^{-2}$ до $7,5 \cdot 10^{-4}\%$, и количество его в озере абсолютно уменьшается (в 1916, по Уразову, до 230 т.; в 1925, по Б. Денисовичу – около 75 т).

Уже по характеру органического вещества и газов (не изученных) эти воды должны быть выделены. Едва ли могут служить основанием для их классификации небольшие количества иода. На этом основании можно выделять только подвиды.

По солевым компонентам эти воды относятся к видам:

I. Cl–Na (богатые Mg и Ca и бедные Mg и Ca разности) и

II. Cl–Na–Ca.

Для Na–Cl I (Бююк-Шор) известно количество нафтеновых кислот; – оно порядка $7,2 \cdot 10^{-1}\%$ (Г. Денисович).

848. Из богатых сульфатами рассолов озер – можно выделить виды:

1. O–Na–S.

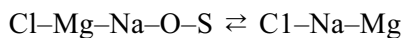
2. Cl–Na–O–S.

3. Cl–Na–O–Mg–S.

Между 2 и 3 есть переходы. Возможно, что есть переход и между 1 и 2.

К озерам Cl–Mg–Na–O–S принадлежат озера, выделяющие астраханит – $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, например Малое Кордуанское озеро, порядок элементов которого бывает: Cl–O–Mg–Na–S, плотный остаток которого содержит астраханит в количестве 28,7–30,7% веса остатка, не учитывая гидратной воды.

849. Ввиду сложных изменений, связанных с выпадением сульфатов, рассолы Cl–Mg–Na–O–S могут переходить временами в рассолы Cl–Mg–Na, т.е. существуют равновесия:



Так для Эльтона (вес. %) по В. Радищеву:

Cl – Mg – Na – O – S	Cl – Mg – Na
4 октября 1927	9 февраля 1928

Плотный остаток (до 180°):

35,6 26,3

Элементы:

Cl	20,3	Cl	16,9
Mg	6,2	Mg	3,1
Na	3,6	Na	5,4
O	3,4		
S	1,6		
K	$2,7 \cdot 10^{-1}$	O	$5,1 \cdot 10^{-1}$
		S	$2,0 \cdot 10^{-1}$
C	$5,1 \cdot 10^{-2}$	K	$5,1 \cdot 10^{-2}$
Br	$5,0 \cdot 10^{-2}$	C	$2,8 \cdot 10^{-2}$
Ca	$3,6 \cdot 10^{-2}$	Br	$2,6 \cdot 10^{-2}$
		Ca	$2,0 \cdot 10^{-2}$
H	$5,6 \cdot 10^{-3}$	H	$2,8 \cdot 10^{-3}$
J	$1,3 \cdot 10^{-4}$	J	$3,0 \cdot 10^{-5}$
Fe	$1,0 \cdot 10^{-5}$	J	$3,0 \cdot 10^{-5}$

По отношению к главным компонентам – NaCl, MgSO₄, MnCl₂ – мы имеем максимальные и минимальные цифры за годовой срок (IX 1927 – IX 1928) следующие (вес. %):

	Минимум	Максимум
NaCl	7,80 (сент.)	17,37 (май)
MgSO ₄	1,34 (март)	4,66 (сентябрь)
MgCl ₂	6,63(май)	14,93 (сентябрь)

Сумма остальных – MgCO₃, MgBr₂, KCl – в максимуме доходит всего до 0,58%.

NaCl всегда почти находился в состоянии насыщения. Концентрация MgSO₄ не доходила до насыщения в теплое время года, но зимой концентрация его уменьшается (минимум в марте) в связи с выпадением Na₂SO₄ · 10H₂O¹.

Слабощелочная реакция рапы обусловлена нахождением MgCO₃ (до 0,14% в сентябре) или основной карбонатной соли магния.

Основным фактором является концентрация воды от испарения и разбавление метеорными осадками. рН = 7,40–7,72.

850. К воде того же состава принадлежит Карабугазский залив Каспийского моря, выделяющий глауберову соль – Na₂SO · 10H₂O – зимой.

На рассоле Карабугаза лежит тонкий слой соленой воды Каспийского моря, проникающий в залив через бар; эта вода растекается по рассолу и медленно с ним сливается.

Казалось, можно было бы рассматривать воды Карабугаза, как «концентрат» Каспийского озера, – Cl–Na–O–S; химически, однако, рассол имеет другую формулу, отвечающую новому равновесию: Cl–Na–Mg– O–S.

¹ Мне кажется, это указывает на то, что надо, вероятно, ион SO₃²⁻ соединять с Na¹⁺, а не с Mg²⁺, т.е. должны быть комплексы (с n H₂O) – Na₂SO₄, NaCl и MgCl₂.

Для него имеем следующий состав (вес. %):

<i>Карабугаз</i>	<i>Каспийское море близ Карабугазского залива</i>
Cl-Mg-O-Na-S	Cl-Na-O-S

Плотный остаток:

28,5–16,4	13
-----------	----

Элементы:

Cl	15,2		
Na	6,2–3,3		
Mg	4,5–1,2		
O ¹	3,3–9,0 · 10 ⁻¹		
S ²	1,7–4,3 · 10 ⁻¹		
K	5,2 · 10 ⁻¹ – 1,0 · 10 ⁻¹	Cl	5,2 · 10 ⁻¹
		Na	3,2 · 10 ⁻¹ – 3 · 10 ⁻¹
		O ³	2,2 · 10 ⁻¹ – 2,1 · 10 ⁻¹
		S ⁴	1,0 · 10 ⁻¹
Ca	9,6 · 10 ⁻² – 1,5 · 10 ⁻²	Mg	7,5 · 10 ⁻² – 6,3 · 10 ⁻²
Br	3,0 · 10 ⁻² – 7,7 · 10 ⁻³	Ca	3,4 · 10 ⁻²
Br	1,7 · 10 ⁻² ?		
C ⁵	4,4 · 10 ⁻³ – 4,0 · 10 ⁻⁴	K	7,6 · 10 ⁻³
		C ⁶	2,2 · 10 ⁻²
		Br	6,9 · 10 ⁻⁴

¹ O₂, CO₂ и органические вещества не учтены. Из SO₄²⁻ (до 5,0%), CO₃²⁻ (до 2 · 10⁻²%).

² Из SO₄²⁻.

⁸ Из SO₄²⁻ (3,1 · 10⁻¹), CO₃ (1,1 · 10⁻²). CO₂, O₃ и органическое вещество не учтены.

⁴ Из SO₄²⁻.

⁵ Из CO₃²⁻. Органические вещества не учтены.

⁶ Из CO₃²⁻.

Б. Ронкин (1928) дает для соленой воды, растекающейся по воде Карабугаза через бар, состав: (3,4%) с 1,6% Cl, 8,2 · 10⁻¹% Na и т.д.

851. Донная вода Карабугаза не отличается резко от общей массы воды. По двум анализам Б. Ронкина в 1927 г. (на глуб. 5–8 м) (вес. %):

Cl	11,4–11,3	Mg	1,7–1,6
Na	6,1–5,9	S ²	1,2–1,2
O ¹	2,5–2,4		
	C ³ 3,9 · 10 ⁻¹ – 1,2 · 10 ⁻²		

¹ Из SO₄²⁻ (до 3,8%), CO₄²⁻ (до 1,9 · 10⁻¹%). O₂, органические вещества и CO₂ не учтены.

² Из SO₄²⁻.

³ Из CO₃²⁻.

852. Более распространены и играют большую роль *карбонатные рассолы* в значительной мере в связи с тем, что ионы CO₃²⁻ и HCO₃¹⁻ более устойчивы и что при взаимодействии между SO₄²⁻ и CO₃²⁻ образуется *сода*. Сера

биохимически в виде иона SO_4^{2-} может восстанавливаться в H_2S и удаляться из озера.

Но образование карбонатных озер идет обычно не этой реакцией, а более сложным путем, тесно связанным с биогенной углекислотой. Это, как указывалось, озера особого типа, в которых собираются, главным образом, не компоненты растворенных солей, а компоненты создаются химическими реакциями.

Здесь мы имеем следующие виды:

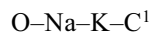
1. Na-O-C-Cl
2. Na-O-C
3. Na-K-O-C .

Есть все переходы между Na-O-C и Na-O-C-Cl , при чем совершенно ясно, что основное значение имеет сода, а не NaCl . В связи с особым генезисом содовых озер надо поставить огромную чистоту воды многих содовых озер – особенно насыщенных, дающих рассолы.

853. Особую группу вод, происхождение которых не может считаться вполне ясным, представляют *поташные озера*, наиболее яркие представители которых наблюдаются в Небраске.

В них калий резко преобладает над натрием – они бедны хлором.

Их состав (вес.%) выражается формулой:



Плотный остаток 10,5–5,2

Элементы:

O^2	4,0–2,1	Cl	$1,0 \cdot 10^{-1}$ – $7,6 \cdot 10^{-2}$
Na	2,7–1,0	H^5	$2,1 \cdot 10^{-2}$ – $9,9 \cdot 10^{-3}$
K	2,1–1,1	Si	$3,0 \cdot 10^{-3}$ – $1,4 \cdot 10^{-3}$
C^3	$1,0$ – $2,4 \cdot 10^{-1}$		
C^4	$4,2 \cdot 10^{-1}$ – $2,3 \cdot 10^{-2}$		

Есть следы Mg

Ca не был найден

¹ Может быть есть разность, богатая хлором.

² Растворимый O_2 , CO_2 и органические вещества не приняты во внимание. Из SO_4^{2-} (до 1,4%), CO_3^{2-} (до 3,4%), HCO_3^{1-} (до 1,3%).

³ Из CO_3^{2-} и HCO_3^{1-} , Органические вещества и растворенная CO_2 не учтены.

⁴ Из SO_4^{2-} .

⁵ Из HCO_3^{1-} . Органические вещества не учтены.

854. Особую сложную группу рассолов представляют некоторые американские озера в Орегоне и Уоминге: Na-O-Cl-S-C , т.е. равновесия H_2O , Na_2CO_3 , Na_2SO_4 и NaCl .

Другой вид рассольных вод представляют озера богатые *бором*. Их формула будет Na-Cl-O-B .

Рассольные озера часто связаны с выходящими на поверхность рассольными источниками, несущими воды из более глубоких грунтовых вод. Таковы, например, соляные источники около Баскунчака и Эльтона. Они питают

до известной степени и рассольные озера и рассольные реки. Это Cl–Na рассолы.

855. Существуют малоизученные воды – *болотные рассолы*.

Они образуются аналогично соляным болотам в местах выхода на земную поверхность рассольных источников, грунтовых рассольных вод – в тех случаях, когда для этого существуют благоприятные условия.

Могут существовать рассольные аналоги соляным и среди солонцовых топей.

Для соляного болота около Laneuveville в Лотарингии указывается в воде 5,4% NaCl.

Я не знаю надежных анализов этих вод.

По-видимому, значительная часть рассольных болот связана с историей прибрежных морских и океанических областей в сухих и жарких областях и в областях приливов и отливов в тех же геохорах.

Эти явления химически почти не изучены и требуют исследования.

856. *Рассольные колодезные воды*, т.е. воды верхних грунтовых горизонтов, наблюдаются в пустынях. Таковы, например, воды рассольных колодцев из Каракумов по анализу Ю. Скворцова (вес. %):

Cl–Na

(4 анализа)

Плотный остаток 10,5–5,2

Элементы:

Cl	4,6–1,8	S ²	$6,9 \cdot 10^{-1}$ – $2,2 \cdot 10^{-1}$
Na	3,3–1,5	Ca	$4,5 \cdot 10^{-1}$ – $1,5 \cdot 10^{-1}$
O ¹	$1,4$ – $6,0 \cdot 10^{-1}$	Mg	$2,6 \cdot 10^{-1}$ – $3,2 \cdot 10^{-2}$
		C ³	$9,2 \cdot 10^{-2}$ – $1,9 \cdot 10^{-2}$

¹ Из SO₄²⁻ (до 2,1%), CO₃²⁻ (до $4,6 \cdot 10^{-1}$ %).

² Из SO₄²⁻.

³ Из CO₃²⁻.

857. Существуют оригинальные *органогенные* выделения рассолов. Они совершенно не изучены, но должны быть здесь отмечены, прежде всего для того, чтобы обратить на них внимание.

Мне кажется, таковы «выцветы», связанные с жизнедеятельностью растений; они широко распространены, и в общей экономии природы их нахождение не может считаться случайным. Они – подобно многим солонцам – существуют только временами, преходящи.

Они обычны в жарких, сухих, теплых местностях – часто в пустынях и в полупустынях, – частью обеспечивая растению пользование влагой (из росной воды или водяных паров), частью давая возможность выделять излишек солей.

В связи с чрезвычайным изменением растительности культурой, многие из таких рассолов могут считаться измененными культурой, как например, те выцветы, KCl, которые выделяются на пшеницах в жарких местностях Египта.

Для пустынь и полупустынь И. Фолкенс, (Volckens, 1886) различает два типа образования таких вод, из которых один несомненно должен давать рассолы, другой – может быть их не дает.

Первый – связан с выделением железами растений (в египетско-аравийской пустыне, например) гигроскопических веществ, другой – с захватом влаги особо развитыми волосками. Первый наблюдается, например, у разных *Reaumuria*, другой, например, у *Diplotaxis Harra*.

Реомюрия захватывает влагу из водяных паров и образует ночью соляные выцветы. Р. Марлот (Marloth, 1887) описывает те же явления для *Tamarix articulata*, Vald, очень обычной в пустыне Калахари, встречаемой недалеко от воды.

Это не настоящий раствор, а «гигроскопическая жидкая масса», которая по существу близка к эвтектическим массам и содержит кристаллы, в ней рассеянные.

Важен факт их существования, биохимического распространения и образования в биосфере в той или иной мере концентрированных растворов.

Указываются водные выделения на листьях *Plumbagina-Ceas* пустынь (*Vogelia africana* и др.), которые при испарении дают CaCO_3 (Фолькенс, 1887). Это могут быть выделения или азотнокислого кальция, или двууглекислого кальция.

Более внимательное изучение живой природы даст, вероятно, указания на множество таких явлений; явлений временного существования насыщенных водных капель – рассолов разных солей.

Для *Reaumuria* гигроскопической солью является MgCl_2 (в NaCl растворе).

858. Выцветы солей, выпадающих из концентрированных растворов, наблюдаются не только в живой природе. Они вообще характерны для биосферы и выражены, например, в *солонцах, выцветах солей* и т.п. Если часть этих кристаллизации образуется путем химических реакций – двойных разложений, – то в основах своих это кристаллизации из насыщенных растворов, которые в очень многих случаях должны заключать более 5% плотного остатка, т.е. являться рассолами. Надо допустить, например, существование насыщенных растворов, богатых кристаллизационной водой для MgSO_4 , Na_2SO_4 и т.п., а также для селитр.

В этих явления мы на каждом шагу видим продукт кристаллизации рассола, но редко когда можем наблюдать самый рассол – преходящее, временное, всегда повторяющееся, всегда исчезающее, но и всегда существующее явление.

859. Частным случаем таких явлений должны считаться и студнеобразные вещества, богатые кремнием – *коллоидальные аналоги рассолов*.

Я уже указывал на значение этих богатых *кремнием* коллоидальных вод в ряде поверхностных вод и верховодок.

В пустынных областях встречаются указания на вероятное выделение твердых корок опалов.

Это заставляет думать, что здесь происходит выделение гелей кремнезема, быстро переходящих в твердые опалы.

Явление заслуживает внимания.

860. Довольно большая область рассолов тесно связана с культурной работой человечества. Таковы многие *рудничные воды*.

Образование этих вод связано с тем, что человек своим трудом приводит в биосферу, в среду выветривания, минеральные образования, которые в этой среде неустойчивы и быстро в ней изменяются.

Эти воды образуются не только во время разработки, но еще явственнее позже, когда интерес человека к этим местонахождениям прекращается, он их оставляет без внимания, забрасывает.

В биосфере образуются этим путем места химических реакций, которые другими природными процессами в ней не проявляются.

Так как интерес человека очень часто связан с такими образованиями как минеральные или пегматитовые жилы – нередко целые поля этих жил, – то в результате огромной работы образуются очень серьезные новообразования, приводящие к новым видам вод.

Очень возможно, что помимо человека многие из этих вод в биосфере не образуются.

Нередко человек для тех или иных целей (часто медицинских) использует эти неожиданные для него, им же попутно вызванные образования.

В последнее время появились исследования любопытных вод этого типа из заброшенных шахт Заальфельда в Тюрингии.

Здесь, путем последующего разрушения оставленных разработкой сернистых, фосфор и мышьяк содержащих руд, получают рассолы – кислые – богатые серной кислотой – фосфорно-железные.

861. Очень обычны железные, медные купоросные воды, богатые серной кислотой.

Как пример, можно привести *рассолы медного купороса*, которые в виде небольших водовместилищ очень часто наблюдаются и создаются при разработке сернистых медных руд; здесь собираются продукты их выветривания, созданные – обычно бессознательно – во время работы человеком.

Своеобразны и мало отмечены разнообразные временно образуемые рассолы в *заводской практике*. Они бесчисленны в своем разнообразии. Я оставляю их здесь в стороне.

862. *Подземные рассольные воды, общие данные.* Обращаясь ко второму царству – подземных вод, можно отметить здесь те же самые подцарства, которые мы наблюдали в пресных и соленых водах; но ясно, что это далеко не все случаи таких рассолов.

Можно отметить *подцарства*:

1. Воды верхних земных покровов.
2. Пластовые воды.
3. Подземные маточные рассолы.
4. Восходящие воды (минеральные источники).
5. Гейзерные и вулканические воды.
6. Волосные воды горных пород.

Эти подцарства играют для рассолов значительно меньшую роль в биосфере, чем их аналоги пресные и соленые; они к тому же значительно менее изучены.

863. *Иловые и почвенные рассолы.* В подцарстве верхних земных покровов – иловых и почвенных растворов – наибольшее внимание обратили иловые растворы благодаря применению их в медицине.

Рассольные почвенные растворы количественно не исследованы, но существуют по крайней мере в солонцах и в некоторых солонцовых почвах.

Среди них заслуживают внимания, но совершенно не изучены – гигроскопические *солонцы*, главной составной частью которых является *хлористый кальций*. Такие солонцы известны, например, в Туркестане. Их состав должен отвечать рассолу CaCl_2 .

Исследование этих вод очень важно для выявления явлений *выветривания*; до сих пор оно недостаточно охвачено точным наблюдением.

Есть указания на аналогичные явления в поверхностных отложениях, которые аналогичны почвам, но по своим морфологическим особенностям могут быть от них отделены.

Таковы оригинальные растворы (рассолы) *серной кислоты* в песчаных пустынях, образующиеся в определенных условиях – по-видимому биохимическим путем, изученные и открытые. Н.И. Влодавцем (1926) в связи с химизмом месторождений самородной серы.

864. *Рассольные иловые воды*, очевидно, должны быть различны для разных форм водных бассейнов. Обратили на себя внимание главным образом иловые воды некоторых морских концентратов (лиманов) и озер.

Наши знания о составе этих вод не точны уже, прежде всего, потому, что нельзя пока составить себе ясного представления о концентрации грязевой рапы в естественном ее состоянии; обычно даются числа, касающиеся только растворимой в воде части озерной или морской грязи. Из них можно заключать лишь косвенным образом о составе природной грязи. Такие анализы дают понятие только об отношениях между составными частями, а не о самой реальной грязевой воде. Можно только в общем судить, насколько должна быть отлична вода иловая от рассола, в котором грязь образуется.

Можно различить следующие семейства иловых рассольных вод, число которых вероятно увеличится (С. Шукарев, С. и О. Косманы): 1) грязи озер, 2) грязи лиманов и озер, из них образовавшихся, 3) грязи в местах выходов соленых ключей.

865. Как указал впервые А.А. Вериги, иловая вода резко химически отличается от воды рассола, при чем Вериги для лиманной грязевой воды выявил своеобразие органических соединений в ней растворимых – в том числе азотистых тел (аминов) – и выделение коллоидальных соединений сернистого железа. Это, как он впервые указал, процессы биохимические. Газовый режим этих вод – неизученный – очевидно должен быть иной, чем для водного рассола: богат CO_2 , не заключает O_2 . Это насыщенные, и может быть пересыщенные, солями воды, очень богатые растворимыми органическими веществами. В водных вытяжках процент органических веществ превышает нередко 1%; они богаты аммиачным и аминным азотом (может быть есть хлористые соединения аммиака). Сера, магний уменьшаются; увеличиваются карбонаты.

866. В тесной связи с иловой водой очень часто находятся и не связанные прямо с озерами рассольные *верховодки* – верхний горизонт пластовых

вод. Как глубоко идут такие верховодки, мы не знаем. Мы уже встречались с этим.

Особый интерес представляют с этой точки зрения рассольные содовые *верховодки* – Na–O–C – содовых озер, например, таковы по М. Кучину (1933) верховодки района Петуховских содовых озер.

Здесь мы не имеем по-видимому уменьшения концентрации, как для иловых вод. По Кучину их рассол отвечает 20° Бомэ.

867. Совершенно особый тип грязевых растворов представляют кислые железно-кальциевые сульфатные воды, связанные с своеобразным выветриванием торфяных соляных болот, богатых железом.

Те анализы, которые сейчас имеются для грязевых вод таких железистых-торфяных грязей – Франценсбада в Чехии, например – являются *культурными водами*, так как эта грязь определенное время лежит на воздухе, подготавливается к употреблению: при таком лежании идет образование (биохимическое) сульфатов из сульфидов с образованием, H_2SO_4 ; окисные соединения железа переходят в закисные – в $FeSO_4$. Получаются водные вытяжки, которые заключают до 4,8% H_2SO_4 , связанной с кислыми сульфатами.

Не приводя здесь анализа этой и аналогичных, измененных культурой иловых вод, нельзя сомневаться, что в областях соленых болотных образований должны иметь место аналогичные природные процессы.

868. *Пластовые рассольные воды.* Обращаясь к *подцарствам вод пластовых и подземных пустот*, мы имеем здесь мало изученную группу; только для некоторых (немногих) семейств этих вод есть более точные химические данные.

Эти воды далеко не всегда могут быть отделимы от минеральных источников (§ 874), тем более что среди последних здесь имеют место рассолы Cl–Na, генезис которых вероятно связан с коррозионными водами от растворения соляных отложений, а не с магмами. Явление, возможное и для некоторых соленых Cl–Na источников.

Среди пластовых вод наблюдается непосредственный переход от пресных и соленых буровых нефтяных вод к *рассольным нефтяным водам*.

Следующие числа дают понятие о составе этих вод (вес. %)¹:

Cl–Na¹

Плотный остаток 26,4–5,0 (31,9)

Уд. вес больше 1,047–1,051

Элементы

Cl	16,2–2,7	N ⁷	$1,5 \cdot 10^{-2}$ – $3,4 \cdot 10^{-5}$
Na	6,5–1,5	Li	$1,0 \cdot 10^{-3}$ – $2,7 \cdot 10^{-5}$
K ²	$6,2 \cdot 10^{-1}$ – $1,1 \cdot 10^{-2}$	Fe	$8,0 \cdot 10^{-3}$ – $5,6 \cdot 10^{-4}$
Mg ³	$3,6 \cdot 10^{-1}$ – $2,3 \cdot 10^{-2}$	Si	$7,5 \cdot 10^{-3}$ – $9,0 \cdot 10^{-5}$
Ca	$3,0 \cdot 10^{-1}$ – $1,7 \cdot 10^{-2}$	J	$4,8 \cdot 10^{-3}$ – $3,0 \cdot 10^{-5}$
O ¹	$2,3 \cdot 10^{-1}$ – $1,6 \cdot 10^{-23}$	H ⁸	$3,6 \cdot 10^{-3}$ – $1,1 \cdot 10^{-4}$
C ⁵	$1,4 \cdot 10^{-1}$ – $7,4 \cdot 10^{-4}$	Mn	$2,0 \cdot 10^{-4}$ – $1,0 \cdot 10^{-4}$

¹ Сюда относится очень полный анализ буровой воды Гейдельбергского источника (Radiumquelle), опубликованный В. Залоном (1927) и сделанный Л. и Р. Фрезениусами.

S ⁶	5,7 · 10 ⁻² –0 (ср. 5,7 · 10 ⁻⁴)		
Ba	4,6 · 10 ⁻² –0 (ср. 1,2 · 10 ⁻³)	B	8,0 · 10 ⁻⁵ –5,8 · 10 ⁻⁵
Sr	4,8 · 10 ⁻² –2,0 · 10 ⁻³	As	6,3 · 10 ⁻⁶ –5,9 · 10 ⁻⁶
Al	2,4 · 10 ⁻² –1,6 · 10 ⁻³	P	4,1 · 10 ⁻⁶ –3,8 · 10 ⁻⁶
Br	2,4 · 10 ⁻² –2,8 · 10 ⁻⁴		
	Ra	5,3 · 10 ⁻¹⁰ –9,7 · 10 ⁻¹²	
	Ms Th I	1,2 · 10 ⁻¹³ –3,3 · 10 ⁻¹⁴	
	Rn	8,1 · 10 ⁻¹⁶ –3,0 · 10 ⁻¹⁷	

¹ В глубоких скважинах, например, в Пенсильвании, есть воды Cl–Na–Ca.

² Богатые К редки; ближайший максимум 3,9 · 10⁻¹⁰%.

³ Большие количества редки: следовательно: max. 3,2 · 10⁻²⁰%.

⁴ Из SO₄²⁻ (до 1,7 · 10⁻¹⁰%), CO₃²⁻ (до 7,0 · 10⁻¹⁰%), HCO₃¹⁻ (до 8,7 · 10⁻²⁰%), SiO₂ (до 1,2 · 10⁻²⁰%), HPO₄²⁻ (до 1,2 · 10⁻⁵⁰%), HAsO₄²⁻ (до 1,2 · 10⁻⁵⁰%), BO₄¹⁻ (до 3,1 · 10⁻⁴⁰%), CO₂ (до 3,1 · 10⁻²⁰%). O₂ не исследован; CO₂ – редко. Органические вещества (нефтяные кислоты) не определены.

⁵ Из CO₂, HCO₃¹⁻, CO₃¹⁻. Органические вещества не учтены.

⁶ Из SO₄²⁻.

⁷ Из NH₄⁺. Растворенный N₂ не учтен.

⁸ Из HCO₃¹⁻ и т.п. Так как обычно HCO₃¹⁻ не вычислена в анализах и вместо нее принимается CO₃²⁻, то эта величина (Гейдельберг) очевидно не является максимальной. Для максимального HCO₃¹⁻ (исходя из 7,0 · 10⁻¹⁰% CO₃) следует 1,2 · 10⁻²⁰% Н. Сверх того обычно NH₄⁺ не учитывается (max. 7,1 · 10⁻³⁰% NH₄).

869. Обогащение Ra и MsTh I того же порядка наблюдалось и в водах, более богатых Са, чем только что указанные.

«Рассольные воды», богатые СаCl₂, по-видимому характерны для очень глубоких напорных пластовых вод и вод подземных водоемов.

По-видимому аналогов этих вод среди минеральных источников нет. Хотя эти горячие воды (рассолы) и фигурируют иногда среди минеральных вод, но это как раз те напорные буровые воды, которые человек использует для лечебных целей под именем минеральных источников. Без усилий человека эти кальциевые воды никогда не появились бы на земной поверхности¹.

Есть близкие наземные рассолы, но их структура должна быть резко иная. Они представляют воды подкласса CO₂–N₂–O₂, тогда как в данных водах нет O₂ и, судя по малому количеству иона CO₃²⁻, мало в них и CO₂. Должно быть это воды азотметановые или азотметаносероводородные.

Изучение их газового режима представляет сейчас огромный интерес так же как и их радиоактивности. По-видимому, ион SO₄²⁻ должен быть в них неустойчив уже на относительно небольшой глубине и переходить в H₂S (может быть в CSO?).

870. В нефтяных месторождениях, богатых Ra и MsThI, есть воды Cl–Na–Ca. Пока пробы в них на Ra и MsThI сделаны главным образом в пределах нашего Союза. Необходимо систематическое количественное определение этих элементов и в других нефтяных областях. Эта работа начата, и для радия явление может считаться установленным.

Состав этих, обычно горячих (Челекен, 61–65°) вод виден из следующих чисел анализов (вес. %):

¹ Богатые кальцием воды не могут быть связаны с магматическими очагами, с их легкорастворимыми и легколетучими (в нижних частях биосферы и стратисферы) телами.

Полуостров Челекен

Cl–Na–Ca

Плотный остаток 21,9–22,9

Элементы:

Cl	14,1–13,5	S ²	1,0 · 10 ⁻¹ – (сл.)
Na	6,4–6,0	Sr	3,2 · 10 ⁻² –3,0 · 10 ⁻²
Ca	1,7 · 1,7	Mn	4,0 · 10 ⁻³
K	4,1 · 10 ⁻¹ –3,1 · 10 ⁻¹	J	2,4 · 10 ⁻³ –2,0 · 10 ⁻³
Mg	2,1 · 10 ⁻¹ –2,1 · 10 ⁻⁴	Fe	2,0 · 10 ⁻³
O ¹	2,1 · 10 ⁻¹ – (сл.)		

Li 1,7 · 10⁻⁵–8,5 · 10⁻⁴

Ra 6,8 · 10⁻¹¹–4,8 · 10⁻¹¹

Есть В, Ва, MsThI

Есть органические вещества

pH = 6,0–6,2

¹ Из SO₄²⁻ (до 3,1 · 10⁻¹⁰%).

871. Воды Челекена возможно не являются проявлением пластовых вод, а представляют форму вод подземных водовместилищ, где капельножидкая форма раствора играет резко преобладающую роль.

Воды Ухтинского края тоже не могут быть пластовыми, выходят из метаморфических кристаллических пород – подземных водоемов – из трещин.

По-видимому с этими водами связаны переходы в рассолы, в которых кальций преобладает над натрием.

Они наблюдались и в областях нефтяных месторождений, но радий и мезоторий в них не были определены. Надо думать, что эти атомы в них тоже концентрируются. Но такие же воды наблюдались в областях, далеких от нефтеносных областей, например, среди древних – докембрийских кристаллических пород, в медных рудниках района Верхнего озера. Являются здесь проявлением – при бурении – подземных водоемов (трещин). Радиоактивность их не изучалась.

Судя по тому, что CO₂ не найдена в некоторых из этих вод, это воды подкласса N₂ или N₂–CH₄, но, к сожалению, растворенные газы не определены.

Мало вероятно чтобы пластовые воды были связаны с магмами. Очень допустимо мнение А. Лэна (Lane), что это глубокие – неподвижные застойные части пластовых вод.

872. Богатые Ra и MsThI верховодки состава Cl–Na–Ca для нефтеносных районов отличаются и другими своеобразными чертами – богатством нефтяных кислот, например, которые не выражены в опубликованных анализах. Сейчас идет работа над анализом этих вод В. Малышеком в Баку, которая еще не опубликована.

Богатые Ra и MsThI рассолы аналогичны во всех исследованных случаях и относятся к виду Cl–Na–Ca. Вода из Челекена (§ 870) является крепким рассолом, где Na:Ca равняется 3,75.

Радий найден в усиленной концентрации за пределами Союза в нефтяных водах Северной Америки, Германии, Чехословакии.

Аналогичны слабые рассолы из Ухты, – один анализ которых я здесь привожу, которые отвечают не пластовым водам, а водам *подземных* водоемов (трещин и пустот). Этот вид глубоких вод совсем не изучен. Может быть это частью коррозионные воды. К сожалению, имеющиеся анализы почти не опубликованы. Na:Ca равно 4,55.

Приводится один из анализов этих вод (вес. %)

Ухта
Cl–Na–(Ca)
Плотный остаток 5,3
Элементы:

Cl	3,2	C ²	1,2 · 10 ⁻²
Na	1,5	Br	1,2 · 10 ⁻²
Ca	3,3 · 10 ⁻¹	Ba	1,6 · 10 ⁻³
Mg	1,1 · 10 ⁻¹	Si	1,6 · 10 ⁻³
O ¹	5,1 · 10 ⁻²	H ³	1,0 · 10 ⁻³
K	1,3 · 10 ⁻²	J	2,1 · 10 ⁻⁴

¹ Из H₂SiO₃, CO₃²⁻, H₂SiO₃.

² Из HCO₃¹⁻, CO₃²⁻.

³ Из HCO₃¹⁻, H₂SiO₃.

873. Совершенно особый тип *рассольных коррозионных вод* представляют рассолы, проникающие пустоты залежей каменной соли, образовавшихся из древних морских и озерных осадков.

Мы имеем здесь несколько видов, вероятно разного происхождения. Таковы рассолы под замершим огромным озером Бонневилем в Большой Соленой пустыне в штате Юта. Это воды, богатые калием, из которых он добывался во время войны 1914–1918 годов и позже.

Можно различить здесь два класса рассолов:

1. Рассолы, проникающие все пустоты твердых залежей каменной соли, образовавшиеся очевидно от замирания одной из стадий Бонневильского озера, наблюдающиеся на относительно небольшой глубине (14,3–61 м от земной поверхности). Состав рассола ¹/₄ по объему всей соли (по Д. Нолану 1927) (вес.%):

Na–Cl–K
Плотный остаток
среднее 29,6
Элементы:

Cl	20,0–18,6	среднее:	19,2
Na	6,8–7,5	»	7,1
K	1,3–8,7 · 10 ⁻¹	»	1,1
Mg	7,1 · 10 ⁻¹ –4,8 · 10 ⁻¹	»	6,3 · 10 ⁻¹
O ¹	3,8 · 10 ⁻¹ –3,3 · 10 ⁻¹	»	3,5 · 10 ⁻¹
S	1,9 · 10 ⁻¹ –1,6 · 10 ⁻¹	»	1,7 · 10 ⁻¹

¹ Из SO₄²⁻ (до 5,7 · 10⁻¹⁰%).

2. Другой вид представляют воды, проникающие глинистые, частью песчаные породы, может быть являющиеся более метаморфизованными водами того же происхождения. Средний анализ Фэрчайльда (Fairchild) для 126 образцов из разных мест дал состав (вес. %):

Cl-Na			
Плотный остаток 16,5			
Элементы:			
Cl	9,6	Mg	$1,9 \cdot 10^{-1}$
Na	5,7	Ca	$1,5 \cdot 10^{-1}$
K	$2,9 \cdot 10^{-1}$	S	$1,3 \cdot 10^{-1}$
O ²	$2,7 \cdot 10^{-1}$	Li	$2,0 \cdot 10^{-4}$
B, Br, J, CO ₂ не найдены			

¹ Из SO₄²⁻ (до $4,1 \cdot 10^{-10}\%$).

874. Существование рассольных *минеральных источников*, связанных с магматическими очагами, возбуждает большие сомнения.

По-видимому, рассольные минеральные источники, *аналогичные* акротермам и соленым источникам, не существуют (ср. § 788).

Возможно, что тяжелые рассольные воды, более близкие к магматическим очагам, не доходят до биосферы и не достигаются нашими самыми глубокими (не выше 3,3 км) бурениями. Но вероятнее, что летучие, богатые водяными парами выделения магм никогда не достигают концентрации и не обогащаются коррозией окружающих пород, превышающей 5% веса раствора. Твердые тела выпадают путем химических реакций много раньше достижения этой концентрации. Решит дело дальнейшее изучение; пока же можно отметить, что все восходящие рассольные воды, поскольку они изучены, относятся только к двум типам, не связанным с магмами.

Эти два типа, вернее три, – восходящие коррозионные воды и воды напорные – пластовые и подземных водоемов.

Первый тип связан с растворением подземными водами разного происхождения залежей и «куполов» растворимых солей, в первую очередь каменной соли – NaCl.

По существу – это *восходящие коррозионные воды*, причем их напор – их движение к поверхности – вероятно часто связан с пластичностью – с движением залежей каменной соли, повторяющих во многом, благодаря этому, формы магматических движений.

Их необходимо по существу отделять от минеральных источников. Но нельзя не отметить, что коррозионные воды морфологически во многом аналогичны связанным с магмами минеральным источникам, так как залежи очень мягких и вязких пластов каменной соли при тектонических явлениях, при больших давлениях (и температурах) дают формы проявлений, очень аналогичные вулканическим и плутоническим процессам.

Также не надо смешивать с минеральными водами напорные воды, не нашедшие естественных выходов, полученные бурением и считаемые в общезнании минеральными источниками.

Дело будущего – выяснить, есть ли еще рассолы иного происхождения.

Имея в виду такое положение дел, нельзя даже условно отнести к минеральным источникам наблюдавшиеся восходящие рассолы. Следующие виды их могут быть отмечены:

1. Cl–Na – значительная часть, коррозионная, образовалась путем растворения каменной соли частью в глубоких частях земной коры; но есть воды и другого типа, например, воды Ухтинского нефтяного района (§ 872) и др.

2. O–Cl–Na–S

3. Cl–Na–Ca

4. Na₂SO₄ – очень возможно происхождение аналогичное Cl–Na в связи с растворением тенардита (мирабилита).

5. MgSO₄ – возможно аналогичное происхождение.

6. Mg–Ca–SO₄ – может быть, из пластовых напорных?

875. Следующие данные дают понятие о составе Cl–Na-рассолов, изученных на земной поверхности. Главная масса их получается бурением.

Эти источники в верхних изливающихся частях содержат растворенный кислород, который вообще не входит в их состав.

Они обычно богаты CO₂; содержат N₂ и CH₄, H₂S. Газовый состав почти не изучен.

Температура их зависит от глубины и достигает многих десятков градусов, доходя до 100° и больше.

Это воды тяжелые с удельным весом до 1, 2 и больше, в зависимости от концентрации.

Cl–Na-источники, богатые SO₄-ионами или Na₂SO₄, составляющие переход в следующую группу, по-видимому, редки.

Вот пределы колебаний (вес. %):

Cl–Na¹

Плотный остаток 40,0–5,0

Элементы

Cl	20,5–2,6	Si	$3,0 \cdot 10^{-2}$ – $4,4 \cdot 10^{-4}$
Na	12,2–1,3	Fe	$1,6 \cdot 10^{-2}$ – $1,5 \cdot 10^{-4}$
		H ⁶	$1,2 \cdot 10^{-2}$ – $6,2 \cdot 10^{-5}$
O ²	$3,5$ – $5,8 \cdot 10^{-3}$	J	$1,1 \cdot 10^{-2}$ – $3,0 \cdot 10^{-6}$
Ca	$2,4$ – $3,4 \cdot 10^{-2}$		
Mg	$1,8$ – $3,2 \cdot 10^{-3}$	N ⁷	$3,9 \cdot 10^{-3}$ – $1,7 \cdot 10^{-4}$
S ³	$1,7$ – $1,3 \cdot 10^{-3}$	Al	$3,0 \cdot 10^{-3}$ – $1,6 \cdot 10^{-4}$
		B	$2,7 \cdot 10^{-3}$ – $7,8 \cdot 10^{-6}$
Br	$8,0 \cdot 10^{-1}$ – $3,5 \cdot 10^{-5}$ (сл.)	P	$2,6 \cdot 10^{-3}$ – $5,6 \cdot 10^{-6}$
K	$5,3 \cdot 10^{-1}$ – $2,1 \cdot 10^{-3}$	Rb	$2,5 \cdot 10^{-3}$ – $8,5 \cdot 10^{-6}$
Sr ⁴	$3,4 \cdot 10^{-1}$ – $5,4 \cdot 10^{-4}$	Li	$1,0 \cdot 10^{-3}$ – $6,8 \cdot 10^{-6}$
Ba	$2,2 \cdot 10^{-1}$ – $4,0 \cdot 10^{-4}$	Mn	$2,2 \cdot 10^{-4}$ – $2,0 \cdot 10^{-5}$
C ⁵	$1,1 \cdot 10^{-1}$ – $1,2 \cdot 10^{-4}$	As	$6,5 \cdot 10^{-5}$

Есть Cs, Pb, Sn, Ag, Cu, Bi, Sb, Au, Zn, Ge, Ti

Органическое вещество $1,0 \cdot 10^{-3}$ – $8,0 \cdot 10^{-5}$

Удельно вес больше 1,444.

Свободно выделяющиеся газы встречены двух типов:

1. N₂:N₂ 98,0–92,4 объемн. % 2. CO₂:CO₂ 94,9 объемн. %

CO ₂	3,9–1,5	N ₂	4,9
O ₂	1,9–4 · 10 ⁻¹	O ₂	1,5 · 10 ⁻¹
CH ₄	1,8	CH ₄	5,0 · 10 ⁻¹
		H ₂ S	сл.

¹ Есть углекисло-азотные (CO₂–N₂), азотно-углекислые (N₂–CO₂), углекислые воды (вес.%):

1. CO ₂		2. N ₂ –CO ₂		3. CO ₂ –N ₂	
CO ₂	2,3 · 10 ⁻¹	N ₂	1,8 · 10 ⁻³	CO ₂	7,0 · 10 ⁻³
N ₂	1,9 · 10 ⁻³	CO ₂	1,0 · 10 ⁻³	N ₂	2,9 · 10 ⁻³
O ₂	5,0 · 10 ⁻⁴	O ₂	7,7 · 10 ⁻⁴	O ₂	1,4 · 10 ⁻⁴
				CH ₄	8,4 · 10 ⁻⁵

² Растворенные O₂ и CO₂ не приняты во внимание, также и растворенные органические вещества. Из SO₄²⁻ (до 5,2%), HCO₃¹⁻ (до 5,3 · 10⁻¹%), SiO₂ (до 2,1 · 10⁻²%) B₄O₇²⁻ (до 9,1 · 10⁻³), S₂O₃²⁻ (до 3,0 · 10⁻³%), PO₄³⁻ (до 2,9 · 10⁻⁴%), ASO₄³⁻ (до 1,2 · 10⁻⁵), HPO₄²⁻ (до 8,2 · 10⁻³), H₂SiO₃ (4,4 · 10⁻³).

³ Из SO₄²⁻, H₂S (до 3,6 · 10⁻⁵%), S₂O₃²⁻. Органические вещества не учтены.

⁴ Есть *стронциевая разность* (Лаутерталь по Леттерману, 1888). Содержит до 9,0 · 10⁻²% Sr Cl₂. Порядок элементов: Cl–Na–Ca–Mg–Sr.

⁵ Из HCO₃¹⁻, CO₂ (до 7,7 · 10⁻²%). Органическое вещество не учтено.

⁶ Из HCOO₃¹⁻, H₂S, NH₄¹⁺ (до 5,0 · 10⁻³%), H₂SiO₄ (до 4,4 · 10⁻³). Органическое вещество не учтено.

⁷ Из NH₄¹⁺ (до 3,0 · 10⁻³), N₂ (до 2,9 · 10⁻³%).

876. Довольно редки рассолы, которые можно рассматривать как смесь NaCl и Na₂SO₄.

Есть рассольные источники, которые относятся к виду Cl–Ca–Na и которые связаны вероятно с глубокими водами этого состава – пластовыми, напорными и водами подземных водоемов.

По-видимому, близка в минералогическом аспекте к этим видам вод рассольная вода глубокой скважины в Москве, на Большой Ордынке, во дворе Института прикладной минералогии¹ на глубине 732 м в сентябре 1932 года. Хотя эта скважина ведется с научной целью, настоящее, научно полное химическое исследование этой воды не сделано или пока не опубликовано². Вода восходит из нижнего девона, из горизонтов близких или идентичных Старорусским рассолам. А.Д. Архангельский считает ее коррозионной, связанной с растворением подземных залежей каменной соли.

Необходимо провести полный анализ этой воды – полный количественный и качественный спектроскопический анализ и, насколько возможно, химический на все химические элементы: выяснить элементы *отсутствующие*, определить глубину, откуда идет вода, пользуясь геотермическими градиентами (в Москве пониженными), точно – количественно и качественно – определить растворенные в воде газы, дать температурные данные для свободно выделяющихся газов и определить количественно их вес по отношению к весу содержащей их воды. Наконец, точно количественно изучить их радиогеологическую обстановку.

¹ В настоящее время Всесоюзный научно-исследовательский институт минерального сырья (ВИМС).

² Сокращенный анализ см. А.Н. Бунеев. Химический состав девонских вод под Москвой. – «Курортология и физиотерапия», 1936, № 6. – Ред.

Мне кажется, огромные затраты, связанные с такой научной скважиной, требуют такого исследования.

877. Отдельно должны быть поставлены рассольные воды, связанные с вулканическими процессами, вторично создающиеся в биосфере из соленых вод. Это будут:

1. O–S–Mg–Na–(Ca)
2. H–Cl–(Fe–S–O)

Здесь же принадлежат *аммонийно-борные источники*, связанные с «soffioni». Таков, например, рассол из Monte Cerboli в Тоскане. Исходные воды соленые (?).



Состав его (вес. %) следующий:

Плотный остаток 13,1

Элементы

O ¹	6,7	K	$5,0 \cdot 10^{-1}$
S ²	2,7	H ³	$3,6 \cdot 10^{-1}$
N ³	1,3	Cl	$1,2 \cdot 10^{-1}$
Mg	$8,2 \cdot 10^{-1}$	Na	$8,6 \cdot 10^{-2}$
B	$5,5 \cdot 10^{-1}$	Ca	$4,8 \cdot 10^{-2}$

Есть Fe, Al(Fe₂O₃ + Al₂O₃ $1,9 \cdot 10^{-2}$) и следы Mn и Si.

¹ Из SO₄²⁻ (7,1 %).

² Из SO₄²⁻.

³ Из NH₄¹⁺.

878. *Волосные воды и воды включений.* Как видно из вышеизложенного, наши химически точные сведения о составе рассольных вод чрезвычайно отрывочны.

Очевидно, перед нами только приподымается завеса огромного природного явления.

Еще менее известно *подцарство волосных вод*, отвечающих *рассолам*, проникающим в горные породы.

Можно здесь различить, по крайней мере, два семейства – *воды волосные*, пленчатые, проникающие, как губка, всякое твердое тело земной коры, и *воды нор* – жидкие в них включения.

Для главной массы вод первого рода можно только делать гипотезы.

Недоказано даже существование в этих породах – массивных и метаморфических – именно рассолов, а не вод пресных или соленых.

879. Но среди таких волосных вод можно сейчас уже выделить настоящие рассолы, которые проникают всякий природный *лед*. Мельчайшие зерна льда, невидные глазом, окружены тончайшей жидкой пленкой рассола. Идея о таком строении была высказана впервые Беканеном во время экспедиции Челленджера (§ 440), но теория была развита Квинке (1905).

Мы имеем в последнее время прямые наблюдения, это подтверждающие.

Работы Г. Таммана (1929) над строением глетчерного льда указывают, что он пронизан тончайшей губчатой сетью эвтектических жидких растворов, замерзающих лишь при температуре около -60° .

Это должен быть эвтектический рассол $n\text{NaCl} \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot q\text{MgSO}_4 \cdot p\text{H}_2\text{O}$.

Это первый случай рассольных вод из огромного нам сейчас неведомого их подцарства. Они образуются только в биосфере.

Почти одновременно с ним – и от него независимо – П. Балавуан (1929) указал, что при замерзании Женевского озера белый малопрозрачный или непрозрачный лед, который на нем образуется, отличается от прозрачного льда по количеству растворимых солевых частиц. В прозрачном их число доходит до $3 \cdot 10^{-4}\%$, в непрозрачном $2,5 \cdot 10^{-8}$ – $1,5 \cdot 10^{-2}\%$. Непрозрачность связана с тем, что лед переполнен пузырьками с рассолом карбонатов и сульфатов. При образовании льда, при застывании пресных вод идет процесс, связанный с образованием криогидратов.

Раствор распадается на лед и на жидкий рассол.

Очевидно, как и для глетчеров, явление, отмеченное Балавуаном, есть общее явление в земной коре для льда всех озер и, вероятно, рек.

880. Гораздо доступнее воды включений в массивных породах и разного генезиса минералах, о значении которых мне много раз приходилось говорить (§ 716).

К сожалению, они почти также мало изучены, как предыдущие два семейства.

Нахождение среди них рассолов было давно указано Г. Сорби (1853).

Он доказал их существование в водных включениях, и горных хрусталях, в кварцах вообще. Количество растворимых солей вероятно колеблется в пределах 15–30%: на это указывает низкая температура (ниже -20°) замерзания и отсутствие насыщения. Пустоты заполнились рассолом при температурах 189–217°. Вода содержит KCl , NaCl , Na_2SO_4 , K_2SO_4 , CaSO_4 , свободные кислоты – HCl и H_2SO_4 .

Явление этих рассолов настойчиво требует изучения.

По-видимому, временами существуют при высоких температурах и давлениях рассолы, о которых мы не имеем понятия в доступных нашему наблюдению условиях. Так при температурах 500–525° существуют в этих мелких полостях растворы с большим солевым остатком:

57,5–53,6% (по Н. Боуэну); 42,5–46,4% H_2O (по Г. Зейферту, 1930).

Для таких водных тел мы должны говорить уже не о минералах *группы вод*, а о минералах *группы галоидных солей*.

Важно то, что существование таких равновесий *больше чем вероятно*.

881. Вероятно, дальнейшее изучение вскроет нам очень странные явления, которые может быть имеют аналогию с включениями.

Таковы описанные Э. Кайзером кремневые полужидкие гели в агатовых друзьях в гнейсах. К сожалению, анализ (63,8% летучих веществ, 11,2% растворимых в воде – Cl , SO_4 , Mg , Na , K , 10,3% SiO_2 и 14,7% H_2O) не дает возможности выявить химический характер тела.

Но существование таких опалов при критической температуре воды, при 375° , когда они застывают, указывается и для включений в массивных породах (Г. Зейферт, 1930).

Мы находим здесь, как и для природных растворов, NaCl .

Нельзя не обратить внимания на концентрацию калия (в слюдах). По Зальм Горстмару (1853) включения в кварцах Дофинэ содержат только KCl со следами NaCl.

Исследование этих вод требует настойчивого внимания и должно вскрыть глубокие и важные черты строения геосфер, лежащих ниже стратисферы.

Тут наблюдается переход из минералов группы воды в минералы группы гидратов – в жидкие и студенистые опалы.

Должно быть, такие же переходы есть и для групп карбонатов, силикатов, алюмосиликатов и т.п. Некоторые их минералы должно быть проходят через группу аналогичных рассольных вод к студням.

Вся область этих преходящих минералов заслуживает серьезного внимания.

882. Все указывает, как уже не раз упоминалось, что рассолы должны преобладать в глубинных водах. Мы пока совсем ничего не знаем о составе этих вод, среди которых сейчас останавливают наше внимание водные растворы, из которых выделяются метаморфические сланцы, *метаморфические растворы*.

Они останавливают наше внимание в связи с открытием тяжелой воды – тяжелых изотопов водорода и кислорода.

Стала перед нами новая черта строения природных вод новое их химическое свойство.

Можно думать что тяжелые молекулы воды $H_2O^{16}(D_2O^{16})$ и $H_2O^{18}(D_2O^{18})$ будут увеличиваться в числе в этих метаморфических рассолах, ибо более легкие молекулы вод должны уйти при процессе испарения, длящегося в масштабе геологического времени, в виде водяных паров ближе к земной поверхности, а более тяжелые должны сконцентрироваться в этих рассолах.

Рассолы эти едва ли существуют много глубже 3–4 км, и температура их может превышать 100° , но не доходить до критической температуры воды. Давление должно достигать многих сотен мегабар, но едва ли много превышает 1000 мегабар.

Исследование воды, изотопов водорода и кислорода, минералов из таких растворов, тальков, хлоритов, хлоритоидов, черных слюд должно решить эту проблему и выявить, существует ли в глубинных рассолах концентрация тяжелых изотопов кислорода и водорода. Наиболее глубоким растворам отвечают вероятно черные слюды.

Ближайшее будущее, очевидно, вырешит эту неожиданную и важную проблему или ее отвергнет.

Заключение

883. Заканчивая обзор химических данных о *составе природных водных тел*, мы видим чрезвычайно ярко выраженное в них проявление единого – огромной важности – геологического явления.

Все эти воды, число видов которых превышает 1000, а сейчас отмечено в этой книге около 540, характеризуются, во-первых, тем, что между ними всеми есть реальная *материальная связь* и в то же время есть резко свойственная каждому виду закономерная – в аспекте всех вод – *индивидуальность*.

Материальная связь между сотнями известных вод устанавливается прежде всего благодаря существованию газовых атмосфер, всюду без исключе-

ния охватывающих все воды. Можно сказать, что в аспекте геологического времени – порядка нескольких миллиардов лет – нет непрерывно замкнутых газовых областей, как и нет уединенных от них природных вод. Во все атмосферы проникает и в равновесии с ними находится *водяной пар*, а через него устанавливается через атмосферы связь друг с другом всех природных вод.

Не менее резко устанавливается другая материальная связь между водами через систему тончайшей *сети волосных вод*, проникающих всю *твердую материю* земной коры.

И наконец в биосфере (от стратосферы до стратисферы включительно) связь устанавливается особым планетным проявлением земных вод – *земным живым веществом*, создающим огромной мощности форму свободной своеобразной энергии, меняющей планету и в своем источнике связанной с космической и атомной ее формами.

Благодаря этой реальной материальной связи можно рассматривать – в аспекте геологического времени – все природные воды, как *единое водное планетное* физико-химическое *равновесие*, в отдельных местах своих обособленное и разнородное.

Его изучение является основной задачей *геохимии природных вод*, к которой мы теперь переходим. Геохимия изучает в этом едином разнородном связанном как целое равновесии миграцию отдельных химических элементов и изотопов и, учитывая единство явления, пытается эмпирически строить законности миграций в разных частях – в разных временах – этого единого динамического равновесия.

Как-раз сейчас, недавно (1934), мы подходим к выяснению пространственно границ этого равновесия в структуре планеты. В нижней части стратосферы (которая очевидно должна быть отмечена, как особая земная оболочка, лежащая ниже ионосферы, или отнесена к ней) мы подошли на высоте 20 км к области, где нельзя открыть никаких следов ни одной фазы воды – ни пара, ни льда, ни жидкой ее фазы. Это огромной научной важности результат полета в стратосферу, совершенного в нашем Союзе Прокофьевым в 1933 г. и выявленного исследованием А. Черепенникова (1934) воздуха с высоты выше 20 км от поверхности геоида. Вывод этот требует проверки, конечно, но факт достижения области планеты, где *воды нет*, – как будто уже имеется.

Планетное водное равновесие в стратосферу может быть не доходит.

Вероятно другая граница его найдется и внизу – возможно существует там, где исчезает на нашей планете газовое состояние материи и неоднородность материального субстрата. Вода, как отдельное тело в комплексе алюмосиликатов и силикатов, там господствующих, может быть не существует.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к пятому тому	5
---------------------------------	---

ИСТОРИЯ МИНЕРАЛОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ Том II

От автора (предисловие к первому выпуску II тома)	9
От автора (предисловие ко второму выпуску II тома).....	12
От автора (предисловие к третьему выпуску II тома)	13

ИСТОРИЯ МИНЕРАЛОВ (продолжение)

<i>III. Второй отдел минералов. Водородистые минералы (гидриды)</i>	15
1. Общие замечания (§ 1–6).....	15
2. Бинарные соединения водорода и кислорода. Природная вода	18
1) Значение воды в строении Земли	18
Особое положение воды в истории Земли (§ 7–21).....	18
Природная вода в минералогии (§ 22–25).....	26
Природная вода в ходе времени (§ 26–29)	28
Вода в космосе (§ 30–37).....	30
Природная вода в земной коре (§ 38–73).....	34
Диссимметрия в положении природных вод в земной коре (§ 74–111)	57
2) Природная вода и живое вещество	80
Вода и жизнь (§ 112–113)	80
Вода в организмах (§ 114–118).....	81
Роль организмов гидросферы в истории воды (§ 119–128)	84
Влияние организмов суши на историю природных вод (§ 129–149).....	89
3) Коллоиды и капиллярные воды в земной коре	100
Общие замечания (§ 150–164)	100
О коллоидных процессах в разных геосферах (§ 165–170).....	111
Волосные природные воды и пленки поверхностного натяжения (§ 171–180)	113
4) Природные водные растворы.....	119
Общие данные (§ 181–206)	119
Основные компоненты классификационного значения для природных вод (§ 207–269).....	132
Несколько соображений об энергетике природных водных растворов в земной коре (§ 270–296).....	166
Несколько замечаний о магмах (§ 297–308)	180
5) Изменение молекул воды в земной коре	189
Гидратация и дегидратация (§ 309–316)	189
Синтез и распадение молекулы воды в земной коре (§ 317–332).....	194

6) Минералы группы воды	201
Принципы классификации минералов группы воды (§ 333–343).....	201
Химическая классификация природных водных растворов (§ 344–352)	208
Список минералов группы природной воды [в сокращенном виде] (§ 353–398а).....	213
7) Эволюция представлений о химии природных вод (§ 399–505а)	219
8) Химический состав минералов группы природной воды.....	289
Состав твердых фаз (§ 506–515).....	289
Состав газовых фаз природной воды (§ 516–531).....	294
9) Химический состав жидких фаз природных вод	303
Общие замечания (§ 533–557)	303
Класс пресных вод	317
Общие замечания (§ 558–573).....	317
Поверхностные воды (§ 574–657).....	327
Подземные воды (§ 658–715).....	376
Волосные пресные воды (§716).....	412
Класс соленых вод.....	412
Общие замечания (§ 717–726)	412
Метеорные соленые воды (§ 727).....	419
Соленые воды океанов (гидросферы) (§ 728–752)	419
Соленые воды суши (§ 753–756)	437
Наземные соленые воды (§ 757–785)	439
Подземные соленые воды (§ 786–819)	454
Почвенные и иловые воды (§ 820–830).....	482
Воды включений (§ 831)	488
Класс рассольных вод	488
Общие данные (§ 832–834)	488
Поверхностные рассольные воды (§ 835–861).....	490
Подземные рассольные воды, общие данные (§ 862).....	504
Иловые и почвенные рассолы (§ 863–867).....	505
Пластовые рассольные воды (§ 868–877).....	506
Волосные воды и воды включений (§ 878–882)	513
Заключение (§ 883).....	515

Научное издание

ВЕРНАДСКИЙ
Владимир Иванович

СОБРАНИЕ СОЧИНЕНИЙ
в двадцати четырех томах

Том пятый

История минералов
земной коры

История природных вод

Утверждено к печати
Ученым советом

Института геохимии и аналитической химии
им. В.И. Вернадского Российской академии наук,
Комиссией РАН по разработке научного наследия
академика В.И. Вернадского

Художник *В.Ю. Яковлев*
Технический редактор *Н.А. Посканная*
Корректоры *Е.А. Желнова, Р.В. Молоканова,*
Т.А. Печко, Е.Л. Сысоева, Т.И. Шеповалова
Компьютерная верстка *Н.В. Мелковой*

Подписано к печати 07.04.2013
Формат 70 × 100^{1/16}, Гарнитура Таймс
Печать офсетная
Усл.печ.л. 42,4. Усл.кр.-отг. 42,4. Уч.-изд.л. 46,0
Тип. зак.

Издательство «Наука»
117997, Москва, Профсоюзная ул., 90

E-mail: secret@naukaran.ru
www.naukaran.ru

ППП «Типография «Наука»»
121099, Москва, Шубинский пер., 6

ISBN 978-5-02-038100-1



9 785020 381001