

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. 7. Труды по геохимии почв и биогеохимии (после 1910 г.) / науч. ред. и сост. академик Э.М. Галимов. – 2013. – 500 с. – ISBN 978-5-02-038111-7 (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 настоящем томе собраны сочинения В.И. Вернадского представлены его работы по геохимии почв и биогеохимии. В.И. Вернадский рассматривал почву как центральное звено биосферы, в котором сходятся разнообразные миграционные циклы химических элементов. В этом томе публикуются работы по живому веществу и биосфере, большая часть которых представлена в следующем 8-м томе.

ISBN 978-5-02-038093-6
ISBN 978-5-02-038111-7 (т. 7)

© 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 СЕДЬМОМУ ТОМУ*

В 7-й том настоящего собрания сочинений включены работы В.И. Вернадского по геохимии почв и биогеохимии.

Исследования по составу почв были выполнены В.И. Вернадским еще в студенческие годы и первые годы его научной и педагогической деятельности под влиянием и под руководством его учителя по Петербургскому университету профессора В.В. Докучаева. Эти самые ранние работы В.И. Вернадского включены в 1-й том настоящего собрания сочинений. В настоящем томе публикуются работы по геохимии почв и биогеохимии, выполненные после 1910 года.

Как писал сам В.И. Вернадский, «я столкнулся с биогеохимическими проблемами в 1891 году, когда стал читать курс минералогии в Московском Университете. Раньше моя работа была направлена главным образом к химии и кристаллографии»... «и отсюда в Московском Университете создалось свое своеобразное течение минералогии, приведшее к созданию **ГЕОХИМИИ** как науки, изучающей историю атомов в земной коре, в отличие от минералогии, изучающей историю в ней молекул и кристаллов, и к биогеохимии – к науке, изучающей жизнь в аспектах атомов».

В.И. Вернадский ясно представлял, что ни в одном из природных тел нет такого тесного взаимопроникновения и взаимодействия между минеральным веществом и живыми организмами, как в почве. «Чтобы правильно оценить геохимическое значение живого вещества, – писал он, – ...мы должны знать для этого, во-первых, средний элементарный химический состав всех организмов, живого вещества и, во-вторых, выразить его количественно, знать вес живого вещества. Этот состав и этот вес мы должны связать с весом и составом той среды – земной коры, – в которой земное вещество находится». «С каждым годом... все яснее становится значение почвы в биосфере – не только как субстрата, на котором живет растительный и животный мир, но как области биосферы, где наиболее интенсивно идут разнообразные химические реакции, связанные с живым веществом».

В 1913 году в журнале «Почвоведение» В.И. Вернадский публикует статью «К вопросу о химическом составе почв», в которой он обращает внимание на необходимость исследования почвенных газов и формах содержания калия в почвах.

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

Он рассматривал почву как центральное звено биосферы, в котором сходятся разнообразные миграционные циклы химических элементов.

Понятие о живом веществе впервые было изложено в статье 1919 года «Об участии живого вещества в создании почв», посвященной роли организмов в почвообразовании.

Работы по биогеохимии и геохимии почв печатаются по тексту книги: В.И. Вернадский. «Биогеохимия и геохимия почв» (изд-во «Наука», 1992, под редакцией В.В. Добровольского), вышедшей в серии «Библиотека научных трудов академика В.И. Вернадского» (ответственный редактор серии А.Л. Яншин). Работы по биогеохимии частично печатаются по тексту этой книги, но большей частью по тексту книги: В.И. Вернадский. «Живое вещество и биосфера», вышедшей в 1994 году в серии «Библиотека научных трудов академика В.И. Вернадского».

Многолетние усилия В.И. Вернадского по организации научного центра для экспериментального изучения проблем биогеохимии привели к созданию в 1928 году Биогеохимической лаборатории АН СССР, из которой вырос современный Институт геохимии и аналитической химии им В.И. Вернадского Российской академии наук.

Э.М. Галимов

СТАТЬИ ПО ГЕОХИМИИ ПОЧВ

ТИТАН В ПОЧВАХ* (К ВОПРОСУ ОБ АНАЛИЗЕ ПОЧВ)

1. Пытаясь вычислить валовой состав почв, мне пришлось столкнуться с чрезвычайной недостаточностью данных об их составе, несмотря на огромное количество имеющихся валовых их анализов. Имеющиеся общие анализы почв неизбежно, благодаря особенностям их состава, значительно менее достоверны, чем анализы минералов или организмов.

Дело в том, что при анализе почв не принимают во внимание особенностей их состава, благодаря которым нельзя к ним применять обычных методов анализа горных пород.

По своему составу почвы – верхняя покрывка суши – должны отражать в себе ход процессов выветривания в связи с жизнедеятельностью организмов. Их состав не будет отвечать среднему составу горных пород; в них будут неизбежно накапливаться некоторые химические элементы, редкие и неважные в составе горных пород. Достаточно, с этой точки зрения, обратить внимание на нахождение в почвах С, N, P. Благодаря выясненному их значению в прикладных вопросах, связанных с почвами, определение этих элементов давно обратило на себя внимание и методы их исследования явились необходимыми и обычными при каждом анализе почв.

Но история многих других химических элементов, напр. V, Ti, F, Rb¹ и т.д., заставляет ожидать их скопления в почвах.

Если, однако, мы обратимся к имеющимся анализам, мы напрасно будем искать следов их присутствия. Никаких указаний на них не имеется. Очевидно, или выводы о неизбежном их присутствии неверны, или анализы почв неверны. Выводы о накоплении определенных элементов в коре выветривания основываются на огромном, точном материале минералогических наблюдений – анализы, применяемые к почвам, делаются на основании предполагаемой тождественности их состава с составом горных пород. Обычно, это – грубые методы анализа, выработанные лишь при допущении присутствия в почвах немногих определенных химических элементов и отсутствия остальных. Кроме указанных С, N, P – в почвах допускаются существующими в заметных количествах Si, Al, O, Mo, Ca, Na, K, Fe, H – реже Mn, S, и Cl. Все остальные элементы, находящиеся в почвах, не определяются, и их

* Опубликовано в: Почвоведение. 1910. № 3. С. 255–259.

¹ О Rb см. В. Вернадский. Труды Геол. Музея Петра Вел. И. Акад. наук, II. СПб., 1908, с. 85 и сл.

существование отражается или на отклонении анализа от 100, или в неверных числах всех или некоторых окислов, на которые мы разлагаем почву. К сожалению, в анализах почв мы имеем дело главным образом с ошибками последнего рода, причем *эти ошибки*, по-видимому, достигают очень большой величины – *исчисляются в процентах*.

2. Я остановлюсь только на одном химическом элементе – *титане*, т.к. количество его в почвах очень велико и должно отражаться очень значительно на обычных числах анализов почв.

Легкий элемент, титан по своему распространению в природе представляет для нас загадку, т.к. нет никаких его свойств, которые заставляли бы предвидеть большое его распространение. А между тем титан широко распространен на Солнце и звездах, относимых к разным классам. И в земной коре он является одним из наиболее распространенных элементов, занимает в ней 10-е место, более распространен, чем углерод, азот или тяжелые металлы. Количество его едва ли менее 0,5% в общей массе земной коры¹. Титан характеризуется чрезвычайно своеобразным типом своих первичных соединений. В массивных породах он или выпадает в виде титанатов (Ca, Fe – реже Mn), или входит в комплексные соединения с SiO₂ (напр., сфен), Ta₂O₅, Nb₂O₅, Fe₂O₃, является изоморфной подмесью к различным первичным силикатам и алюмо- и ферросиликатам (группы оливина, авгитов и роговых обманок, гранатов), м. б. шпинелям, реже входит в сложные малоизученные соединения «редких земель» – иттровой и церовой групп. Наконец, выпадает в виде свободной окиси титана.

Те же самые минералы наблюдаются в сухих трещинах и пегматитовых жилах, первичных минеральных телах для соединений этого элемента.

Эти первичные соединения титана на земной поверхности, в коре выветривания, неустойчивы. Они здесь медленно разлагаются, давая соединения, к сожалению, совершенно неизученные. Это будут какие-то аналоги глин (ксантины) (в глинах иногда заключается до 5% TiO₂ в химически связанном состоянии), м. б. аморфная TiO₂ или разности водных титанатов. Но хотя эти вторичные минералы не изучены, мы все же знаем, что в области выветривания титан не дает растворимых соединений, остается в осадке, в виде малоподвижных, труднорастворимых тел. *Нам неизвестно ни одного соединения титана, которое выделялось бы из своих водных растворов в коре выветривания*. К тому же, если многие соединения титана (например, многие титанониобаты и титанотанталаты, рутил, титанистый железняк и т.п.) трудно поддаются выветриванию, то другие формы выделений титана неизбежно быстро разлагаются на земной поверхности (таковы богатые Ti силикаты, алюмосиликаты, ферросиликаты).

Хотя мы не знаем промежуточных продуктов распада минералов титана, нам известен их *конечный продукт* – TiO₂ – в форме рутила, брукита, анатаза. По-видимому, и в коре выветривания, в конце концов, все соединения Ti дают кристаллическую TiO₂, и, несомненно, это тело является одним из конечных их продуктов в области метаморфизации².

¹ См. В. Вернадский. Опыт описат[ельной] минералогии. 1. СПб., 1908, с. 124.

² О титановых соединениях см. В. Вернадский. Минералогия. П. М. 1909, с. 143 сл. (литогр.).

3. Очевидно, следовательно, и в почвах должен собираться титан, он не может уноситься из них при выветривании. И количество его в почвах не может быть незначительным. При общем количестве – 0,5% – Ti в земной коре, в массивных породах титанаты составляют не менее 1,5% их веса¹, а в почвах % соединений титана должен быть еще больше. Особенно велик он должен быть в почвах, происшедших посредственно или непосредственно разрушением массивных пород – каковы и почвы нашей Европейской России, бравшие свои элементы в значительной мере из моренного материала ледникового покрова.

Но мы напрасно стали бы искать этой TiO_2 в русских анализах наших почв; он в них исчезает, распределяется между Al_2O_3 , Fe_2O_3 , м. б. SiO_2 . Каково его количество? Попытка определить его была сделана уже давно Деннингтоном². Числа Деннингтона чрезвычайно поучительны; они показывают, какую огромную поправку мы должны вносить в обычные почвенные анализы, в которых упускается из виду титан. В почвах Виргинии в среднем находится 1,57 TiO_2 (от 5,42 до 0,07%); в среднем в почвах других областей Соединенных Штатов 0,85% TiO_2 (максимальное число 4,93%). Любопытны числа Деннингтона для русских почв – Полтавской, Саратовской и Новгородской губерний. В его образцах имелось 0,32–0,63% TiO_2 ³. Однако эти числа Деннингтона, очевидно, далеко не отвечают всем случаям. И у нас находятся почвы, гораздо более богатые TiO_2 , аналогичные почвам Соединенных Штатов или Сандвичевых островов (где наблюдалось 4,00, 4,43, 2,78 и т.д. % TiO_2). При исследовании, с другой целью, своеобразных черноземов Моршанского уезда Тамбовской губ. (близ ст. Вернадовки) оказалось, что почвы эти очень богаты TiO_2 . По анализу К.А. Ненадкевича, он заключает:

	TiO_2 , %
Чернозем	0,85
Светлый «оподзоленный» чернозем	0,85
Конкреции в этом слое	0,80

Эти числа больше максимальных чисел Деннингтона (0,63% TiO_2 для чернозема из Балашовского уезда), и очевидно, судя по данным для почв других стран, можно ожидать еще больших чисел для TiO_2 наших русских почв.

4. Пропуск в анализе составной части около 1% (и больше?), очевидно, заставляет относиться с осторожностью к другим числам этих анализов. Тем более, что есть все основания думать, что в этих анализах пропущены и другие элементы.

Русские почвоведы были одни из первых, признавших за почвой особое, своеобразное естественное тело, отличное от горной породы. Одной из заслуг В.В. Докучаева является пропаганда этой идеи. А между тем эти представления ничем не отражались на примененных методах анализа. Ничтоже сумняшеся, применили к почве методы анализа, выработанные для горных пород. При этом методы эти недостаточны и для горных пород, в которых работы Кларка и его помощников указали необходимость и возможность

¹ F.W. Clarke. The data of geochemistry. W., 1908, p. 352.

² F.P. Dunnington. Americ. Journal of Science (3). XLII. N. Y. 1891, p. 491.

³ 7 определений; образцы доставлены были проф. Н. Меншуткиным (Dunnington, L. c., p. 494).

количественного определения таких элементов, как V, F, Zr, Li, Ba, Sr и т.д. Поправки, вводимые в анализ этими определениями, очень велики и заставляют все с большей и большей осторожностью пользоваться для выводов о минеральных процессах в породах старыми анализами.

Еще более необходимо определение многих из этих элементов в почвах, ибо почвы химически тем и отличаются от горных пород, что в них увеличивается содержание одних элементов и уменьшается содержание других.

Кроме P, Ti, C, N, в почвах должно увеличиваться, по сравнению с горными породами, содержание Mn, V, F, элементов иттроцеровой группы, по видимому, Li, Zr и т.д.

Уже теперь есть данные, указывающие на своеобразный характер химических свойств почв по отношению к таким своеобразным элементам, как U или Th. Они также накапливаются в почвах, судя по свойствам известных нам их природных соединений.

Не касаясь дальше этих вопросов, не могу не закончить эту заметку пожеланием, чтобы были сделаны более современными методы количественного определения состава наших почв и, в частности, чтобы было выяснено содержание в них TiO_2 , упускаемое при анализах количество которого, как видно, может превышать 5%. Было бы чрезвычайно любопытно определять при анализе почв, по крайней мере, те вышеуказанные химические элементы, которые должны находиться в них в количествах, больших, чем в горных породах¹.

К ВОПРОСУ О ХИМИЧЕСКОМ СОСТАВЕ ПОЧВ*

1. О НЕОБХОДИМОСТИ АНАЛИЗА ГАЗОВ ПОЧВ

Химия почв не может быть познана, даже в своих общих чертах, изучением только твердых и жидких составных частей почвы. Мы не будем иметь ясного о ней представления, даже если бы мы совершенно точно изучали твердый скелет почв, определили химическую структуру ее гумусных веществ, раскрывающуюся перед нами в последнее время благодаря интереснейшим работам американских ученых, выяснили строение и свойства коллоидальных почвенных тел, почвенных растворов. Все это дало бы нам познание только части почвы, не отвечало бы сложному природному телу. Оно так же далеко от познания химического ее характера, как далек от него валовой анализ более тонким химическим и физическим исследованием отдельных твердых и жидких компонентов почвы, мы все же мало приближаемся к познанию целого. Как были, так и остаемся от него далеки.

¹ Мною и моими сотрудниками Е.Д. Ревуцкой и А.А. Твалчрелидзе начато спектроскопическое исследование почв. Любопытно, что спектр (в кислородно-газовом пламени) почв чрезвычайно сложен и богат трудно определяемыми линиями; он для разных почв очень различен. Спектр Li в них очень резок. Работа только что начата. См. *В. Вернадский*. «Известия Акад. наук». СПб., 1910.

* Впервые опубликовано в: Почвоведение. 1913. № 2–3. С. 1–21. В дальнейшем опубликовано в: Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. С. 303–310.

Ибо почва состоит не только из жидких и твердых компонентов и не может быть охвачена только их изучением. *Почва, взятая без газов, не есть почва.* Газы почв в свободном виде составляют почвенную атмосферу, проникают не только в поры и пустые пространства почвы, но и сгущаются путем окклюзии в рыхлом субстрате почв. Но почвенная атмосфера составляет далеко не всю и даже едва ли главную часть газообразных продуктов почв; все коллоидальные тела почв пропитаны газами, являются местами их выделения и поглощения.

Коллоидальные тела обратили на себя особое внимание в почвенных процессах, и едва ли можно достаточно переоценить их значение в химии почв, а между тем эти коллоидальные вещества во многом отличны от обычных коллоидов, ибо они всегда проникнуты газами и являются местом их передвижения. В какой форме находятся газы в этих коллоидах, мы не знаем. Еще меньше мы знаем газообразные находения в твердом – кристаллическом – скелете почв; мы можем только утверждать значение этой формы вещества в области почвенных минералов. Утверждая огромное распространение среди них процессов окисления, восстановления, гидратации, мы, в иных выражениях, только указываем на роль газов в твердом скелете почв, ибо во всех этих реакциях участвуют газы или их водные растворы.

Почва не есть инертное тело с установившимися химическими соединениями. В отличие от горных пород химические изменения протекают в ней быстро, совершаются непрерывно, и едва можно ошибиться, если утверждать, что почва представляет среду, находящуюся непрерывно в состоянии изменяющегося и неустановившегося химического равновесия. Такой характер почва принимает главным образом благодаря проникающим ее газам.

Их характер, свойства, количественные соотношения резко меняются в почве под влиянием главным образом метеорологических и биохимических факторов. Метеорологические факторы – температура, атмосферное давление, влажность, осадки, ветер, лучистая энергия и т.д. – своеобразно отражаются на почвенном воздухе, меняют его свойства, вызывающие в нем передвижение и определяют различные химические реакции, им вызываемые.

Взятые в широком смысле и отнесенные к средним числам в данной местности метеорологические факторы дают нам климатические условия газового обмена, идущего в почвах.

Однако, если бы мы имели дело только с метеорологическими (в широком смысле – климатическими) факторами газового обмена почв, если бы только ими обуславливался состав газов почв и их химическая активность, может быть не было бы особенной необходимости останавливаться на газах почв, так как можно было бы иметь о них ясное представление, зная состав атмосферы данной местности и зависимость его от метеорологических факторов, с одной стороны, и химические свойства и состав твердых и жидких почвенных компонентов – с другой.

Но газы почв зависят, может быть в еще большей степени, в своей химической активности и в химическом составе от других, новых для атмосферы и для горных пород факторов – факторов биохимических.

С каждым годом значение биохимических процессов в почвах становится для нас все яснее и они выступают все ярче на первое место в их химической истории. И вместе с тем все яснее становится нам значение почвы в биосфе-

ре – не только как субстрата, на котором живет растительный и животный мир, но как области биосферы, где наиболее интенсивно идут разнообразные химические реакции, связанные с живым веществом. Не только биохимические явления в почве играют в ее химии самую видную роль – влияют, должно быть, на все химические почвенные реакции без исключения, – но и самое значение этих биохимических почвенных реакций в общей химии земной коры становится для нас с каждым годом, неожиданно для нас, все большим. Роль почвы в истории земной коры отнюдь не соответствует тонкому слою, какой она образует на ее поверхности. Но она вполне отвечает той огромной активной энергии, которая собрана в живом веществе почвы и способна к переносу благодаря проникающим в почву газам.

Говоря о значении биохимических процессов в почвах и значении почвы в области биосферы, мы другими словами скрыто указываем на первенствующую роль газов в почвенных процессах и значение этих газов в газовом обмене земной коры.

Ибо в жизни организмов, в живой материи, газы являются наиболее характерным проявлением химических процессов; химию жизненных явлений нельзя изучать и состав живых организмов нельзя учитывать, не принимая во внимание газы, проникающие, образующиеся и поглощающиеся в живой материи. Очевидно, указывая на значение биохимических процессов в почвах, мы тем самым и для них выдвигаем на то же самое место, как в жизни организмов, газы, их проникающие, в них образующиеся и ими захватываемые.

Совершенно к тому же самому приводят указания на значение почвы в биосфере. Вся биосфера является областью разнообразнейших газовых процессов. Покрывая весь земной шар, почвы являются той средой, в которой в теснейшей связи с жизнедеятельностью проникающих их организмов идет медленное, но непрерывное поглощение и выделение газов. Это область газовых испарений земной коры¹.

И если эти испарения в каждом отдельном случае ничтожны и не могут быть даже измерены, в сумме они производят огромный эффект и их химическая роль в земной коре в настоящее время, их геологическая роль в будущей смене веков огромна. Мы здесь видим обычное в истории Земли значение мелких причин, отдельно незаметных явлений. Давно вошла в сознание роль низших, мелких нередко не видных глазу организмов в отложении известняков или кремнистых сланцев, разрушающая и строящая земную поверхность роль дождя, прибоя волн или ветра, значение ничтожных организмов в накоплении железных руд, отложении смолистых углей, образовании известковых и доломитовых океанических островов и рифов. Но по сравнению со всеми этими явлениями геологическая роль почвы должна быть еще более значительна, и в общем химическом значении биосферы она стоит на более видном месте.

Эта роль обуславливается проникающими в почву низшими организмами и наиболее резко проявляется в газовом обмене земной коры. Может быть,

¹ Номенклатуру форм нахождения газов в земной коре см. *В.И. Вернадский*. Опыт описательной минералогии, т. I, вып. 4. СПб., 1912, с. 590 [Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1955. Т. 2. С. 389]. См. также: Изв. Акад. наук, сер. VI, № 2, 1912 [Избр. соч., 1960. Т. 5. С. 337].

только дно и поверхность океана имеют сравнимое с почвой геологическое строение в химии земной коры.

Можно даже в истории земной коры, в истории отдельных составляющих ее элементов определить эту роль довольно точно. Так, в истории азота почва является, с одной стороны, тем местом, где азот входит в соединения и теряет свою газообразную форму. Азот улавливается почвой, входит в ряд новых органических соединений, строящих организмы, переходит в селитры, растворяющиеся в водах или дающие временные или длящиеся твердые отложения. В то же самое время в почвах же мы имеем и обратные реакции – выделение свободного азота и разложение его соединений. Взаимные количественные отношения этих процессов для нас не ясны; не ясно, больше ли уходит азота в почву в связанное состояние или меньше, чем сколько его в них получается разложением отмерших организмов или селитр. Но, во всяком случае, круговорот азота, идущий в почвах, играет первостепенную роль в биосфере, через него проходит большая часть органического азота, он обуславливает образование и распадение органического вещества сказывается во всех химических реакциях земной поверхности, в которых играет роль органическое вещество живой материи.

Геологическое значение этого процесса мы можем себе ясно представить, если обратим внимание на то, что нет ни одного минерала, свойственного поверхностной оболочке литосферы, который образовался бы без участия организмов. История соединения меди, свинца, цинка и других тяжелых металлов, даже золота и серебра, всегда носит следы влияния этих веществ. Мы наблюдаем их могучее влияние в распадении силикатов и алюмосиликатов, в истории соединений серы, фосфора, углерода. Конечно, почва не является единственным источником органического азота. Наряду с ней аналогичную роль играет поверхность водных бассейнов, тонкая пленка, населенная морским или пресноводным планктоном, в некотором отношении – почва океанов. Но между ними – через те же организмы – есть постоянный материальный обмен. Почва и поверхность океанов являются производителями азотистых тел живой материи.

С геологической точки зрения, не меньшее, может быть, значение имеет почва и в истории водорода. Почва задерживает испарения водорода и не дает им подыматься в верхние части земной атмосферы. С помощью низших организмов она переводит их в соединения. Очень возможно, что этим обуславливается сохранение водородных молекул на нашей планете. Почва не дает им рассеиваться в небесном пространстве. Она служит аппаратом, сохраняющим земной шар от медленного разрушения.

И в истории других почвенных газов – кислорода, угольной кислоты, постоянно выделяющихся в свободном состоянии и поглощаемых почвой при биохимических процессах, мы имеем другие проявления огромного геологического значения почвы, на которых здесь нет надобности останавливаться.

Все это указывает на геологическое значение газов, имеющих своим местом нахождения почву, в ней вырабатывающихся или ею захватываемых.

Но «почва» распадается на ряд естественных тел, очень различных по своим химическим свойствам, своим биохимическим процессам. Очевидно, почвы разного характера, разных климатических зон должны отличаться разным количественным и качественным составом газов, им свойственных.

Следовательно, роль разных почв в режиме газов земной коры должна быть различной, и почвенная карта земного шара должна была бы дать нам возможность не только иметь об этом точные представления, но и их количественно учесть.

Но напрасно стали бы мы искать ответа на эти и другие аналогичные вопросы в огромном химическом материале анализов, собранных долготлетней работой. Газы почвы, геологическое значение которых для нас не подлежит сомнению и которые должны наиболее полно и просто выражать нам характер химических процессов, в ней идущих, являются областью почти дееспособной для исследователя почв.

Только некоторые из них обратили на себя внимание в начале XIX столетия¹, когда почвоведение еще не сложилось в современную науку; тогда центр тяжести исследования был перенесен на изучение только обмена CO_2 в тесной связи с вопросами культуры растений. Почвы брались не в их естественном состоянии, а изучались почвы случайные, большей частью очень специальные – парниковые или садовые. Так осталось неизменным до сих пор. Для нас через столетие почти после работ Ж. Буссенго являются полной terra incognita газы почв в их естественном состоянии. Мы не знаем, как отличаются газы чернозема от газов болотных почв, подзолов, песчаных почв, красноземов, белоземов. Не выяснены изменения этих газов в разное время: зимой под снежным покровом, под паром или в разное время летней поры. Нечего и говорить о газах в почвах тропиков или полярных стран, изучение коих и в других отношениях отстало от изучения почв нашего климата.

Едва ли можно сомневаться, что одно изучение количества CO_2 недостаточно для познания почвенных газов, ибо почвы являются областью энергичного изменения азота. В характере этого азота наблюдаются аномалии не совсем понятные. Например, Шлезинг нашел, что аргона в почвенном азоте меньше, чем в азоте воздуха. Единственным объяснением явилось бы предположение, что этот азот далеко не весь воздушного происхождения или что наряду с азотом находятся в почве его газообразные соединения. Как известно, Лидов указывал на некоторые явления, делающие возможным такое допущение для азота атмосферы в известных условиях. Но эти все работы требуют подтверждения и проверки.

Наряду с азотом почвы могут и должны заключать водород, метан, которые обычно совсем не определяются при определении CO_2 в почвах. Встречается ли всегда метан в болотистых почвах? Не есть ли почва – в некоторых ее разностях – один из источников, где вырабатываются столь важные для земной коры углеводороды? Имеем ли мы случаи обогащения почвы кислородом? Работы того же Лидова и Фокина над почвами Харькова (к сожалению, ближе не определенными) дали нам числа кислорода и уголекислоты, находящиеся в резком противоречии с тем, что нам известно для огородных и садовых почв. Кислорода в них во много раз больше.

Теоретически мыслимо обогащение – в известных случаях – почв свободным кислородом и, очевидно, это не может быть безразличным с точки

¹ Литературу по элементарным газам в почвах см.: *В.И. Вернадский*. Опыт описательной минералогии, т. I, вып. 4 и 5. СПб., 1912 и 1914, с. 633, 655, 674, 677, 698, 774 [Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1955. Т. 2. С. 423, 442, 456–457, 459, 478].

зрения их плодородия. Особенно с этой точки зрения важно изучить почву под снегом, на озимых и парах или почву ранней весны. Мы знаем, что на поверхности океанов, в области планктона, мы имеем временные слои воды, обогащенные кислородом не только по сравнению с воздухом, но и со всегда более богатой кислородом водою, находящейся в соприкосновении с воздухом. В реках мы наблюдаем аналогичные явления в не менее резкой форме, наблюдаем слои воды, пересыщенные кислородом. Но то же самое можно ожидать в известных случаях в почвах, хотя, к сожалению, этот логический вывод до сих пор не проверен наблюдением.

Обогащение почв кислородом должно происходить во время и после дождя, когда с ним приносится в водном растворе больше кислорода, чем сколько его по сравнению с азотом находится в воздухе. Особенно резко должно это проявляться в весеннее время, в нашем климате – при таянии снега. Наш снежный покров есть не только покрывка озимей – это живительная покрывка, которая весной даст им газы, более обогащенные кислородом, чем обычный, окружающий их воздух. Вообще в течение зимы можно ждать в почве процессов, обратных тому, что наблюдается в замкнутых водных бассейнах. Так, в связи с замерзанием поверхности прудов, рек, озер зимой кислород почти весь исчезает, поглощается живыми организмами и биохимическими процессами, идущими в связи с их разрушением. Но здесь под рыхлым слоем снега, богатого окклюдированным и растворенным кислородом, находящимся в обмене с окружающим воздухом, процесс должен идти иначе. Но наблюдений газа в почвах под снежным покровом нет.

Совершенно не безразличной с этой точки зрения должна быть ранняя весенняя флора зеленых водорослей, покрывающих черноземы наших степей. Роль этих водорослей в процессах обогащения кислородом поверхности водных бассейнов, как мы знаем, огромная, не может быть менее значительной в богатой водою, влажной почве весенней степи.

Почва может быть обогащена кислородом не только в этих случаях. Почвы поемных лугов не раз должны представлять аналогичные явления. Эти случаи взяты здесь только как примеры. Они указывают на возможность существования почв, богатых кислородом, а такие явления, очевидно, не могут быть безразличны с точки зрения плодородия почв.

Таким образом, не только вопросы геологического характера, но чисто практические вопросы земледелия требуют постановки газового анализа почв. Причины плодородия почв во многом загадочны. Нельзя упускать из исследования ни одного из возможных факторов, одним из которых, до сих пор упущенным, является режим кислорода в почвах.

Среди почв болотных мы, с точки зрения минералогической, ясно имеем две группы: в одних, как показал Потонье, идут процессы восстановления, в других – окисления. Соединения железа находятся в одних почвах в состоянии закисном, в других – окисном. Едва ли это не является указателем различного обогащения почв кислородом.

Вопросов сейчас можно будет поставить много. Но мало на них можно дать точных ответов, так как нет до сих пор самых простых газовых анализов почв в их естественном состоянии при разных метеорологических условиях.

И с точки зрения геологической – химии земной коры, и с точки зрения чисто практической – плодородия, и с точки зрения почвенной – учета хими-

ческой статистики и динамики различных естественных почв, химический газовый анализ почв стоит на очереди, требуя работы. В России, где сейчас идет интенсивная работа по исследованию ее почв, где прочно укоренилось в сознании почвоведов понятие о почвенном типе, как естественном теле, при массе валовых анализов почв нет до сих пор ни одного полного газового анализа почв! А между тем именно здесь такие анализы, может быть, особенно нужны, так как почвенные типы здесь прочно установлены. Необходимо, чтобы русские исследователи обратили на это внимание и сделали упущенную работу.

2. О СПУТНИКАХ КАЛИЯ В ПОЧВАХ

При изучении состава почв определение калия имеет особое значение, так как калий является одним из элементов, обуславливающих плодородие почвы. Поэтому калий определяется во всяком анализе почв. Однако эти определения требуют сейчас если не поправки, то, во всяком случае, проверки.

Все обычные методы определения калия не дают возможности отличить калий от некоторых, более тяжелых, близких к нему по свойству элементов – рубидия, цезия, таллия. Обычно считается, что количество этих элементов ничтожно, что мы наблюдаем в природе только следы этих элементов, которые чрезвычайно редко скапливаются в заметных количествах и потому могут быть спокойно оставлены в стороне при определении калия.

Однако по отношению к природным соединениям это далеко не всегда может быть сделано без вреда для точности анализа. Оставляя пока в стороне цезий и таллий, по-видимому, менее обычные как спутники калия¹, мы ясно видим, что отнюдь нельзя этого сказать про рубидий, весьма распространенный в природе и обычно причисляемый к калию.

С каждым годом распространение рубидия в природе оказывается более сильным, чем это обычно предполагалось². Впервые на это указали наблюдения русского ученого К. Шмидта, который нашел, что рубидий обычен в водах океанов и составляет в них едва ли менее 0,001% (в озерах – до 0,3% RbCl), а, по-видимому, гораздо более. Эти наблюдения Шмидта не обратили на себя внимания, а между тем очевидно, они ставили на разрешение вопрос, откуда попал рубидий в морскую воду. Состав воды океанов, не известный нам в своих частностях, в общем может быть рассматриваем как обусловленный растворимостью соединений, попадающих в реки и океаны.

В реки попадают только такие соединения, которые не поглощаются почвами, во всяком случае, едва ли будет ошибочным считать, что главная часть солей, растворенных в морской воде, так или иначе прошла через почвы, ими просеяна и вынесена через них в реки.

¹ Цезий, по-видимому, встречается в довольно исключительных условиях (в пегматитовых жилах), таллий же главным образом скапливается в природе вне всякого отношения к калию, быстро от него отделяется в природных поверхностных реакциях.

² О распространении рубидия см. сводку *P. Ephraim, Gmelin-Kraut's. Handbuch der anorganischen Chemie, Bd. II, Abl. I, 1906, S. 188; В.И. Вернадский. Тр. Геол. музея Акад. наук, 2. СПб., 1908, 86; его же. Изв. Акад. наук, 3, № 12, 1909, 821 [Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 1. С. 419].*

Лишь часть солей морской воды выщелочена морем из твердых осадков, которые в ней взмучены. Может быть, часть извека находилась в океанах.

Во всяком случае, богатство рубидием морской воды и воды всех до сих пор изученных соленых озер, несомненно, ставит вопрос о нахождении рубидия и в почвах, ибо количество рубидия по отношению к калию морской или озерной солевой воды достигает многих процентов, и такова, очевидно, будет ошибка при определении калия в морской воде, в котором не будет сделана поправка на рубидий.

Распространение рубидия в морской воде становится нам теперь понятным, так как рубидий оказывается чрезвычайно распространенным в главных калиевых соединениях земной коры, в алюмосиликатах – слюдах и полевых шпатах. Здесь количество Rb_2O временами достигает 3% и больше. В некоторых полевых шпатах (например, в микроклинах из Ильменских гор) более 23% того вещества, который считался за K_2O и состоит из Rb_2O ; немногим меньше числа, получаемые для некоторых слюд. Конечно, это предельные цифры, но вопрос мало исследован, требует сейчас проверки, и очень возможно, что числа калия без поправки на рубидий окажутся для всей группы калиевых полевых шпатов и слюд на несколько процентов их количества большими действительности. Таким образом, при проверке анализов количество калия может уменьшиться значительно, может быть, даже на четверть.

Вопрос об этой поправке отнюдь не является чисто экспериментальным вопросом. Он тесно связан с общей историей рубидия в земной коре.

Для рубидия чрезвычайно характерно, что мы не знаем для него ни одного минерала вторичного происхождения, образовавшегося из разрушения богатых им первичных соединений. Больше того, те количества рубидия, какие найдены в слюдах, полевых шпатах, бериллах, до сих пор не были найдены в заключающих рубидий вторичных телах.

Следовательно, при разрушении первичных калиевых соединений в почвах и на земной поверхности рубидий, очевидно, или должен скапливаться в до сих пор мало исследованных коллоидальных и подвижных тонкокристаллических диссоциационных продуктах разрушения алюмосиликатов, или уноситься в виде водных растворов, попадая в их вторичные твердые отложения.

Несомненно, это последнее отчасти происходит и этим объясняется его нахождение в морской воде. Для солей рубидия, как известно, существует законность, отмеченная давно уже Годфруа: его простые соли более легко растворимы в воде, чем соли калия. Следовательно, возможно, что рубидий будет легче выщелачиваться из почв и продуктов денудации и выветривания, покрывающих наш земной шар, и будет собираться в океаны. Тем более, что значительная часть калия удерживается на суше живым веществом или скапливается в его составе в гидросфере.

Однако явление не идет так просто для рубидия. Тот же Годфруа показал, что «двойные соединения» рубидия труднее растворимы, чем «двойные соединения» калия. Дальнейшие исследования еще более подтвердили эти явления: они указали, что эти рубидиевые тела нередко и более прочны, чем соответственные тела калия. Таким образом, в тех условиях, в каких мы имеем дело с образованием таких тел, можно ожидать обратных явлений для рубидия. А между тем все указывает, что образование таких сложных тел для рубидия еще более обычно, чем для калия.

На это указывает и любопытная история природных отложений калийных солей. Здесь получают более богатые рубидием, чем весь шток солей калия, образования двойных солей, например карналлита.

В связи с этой способностью рубидия сомнительно, чтобы он уходил в легко растворимой форме целиком в море. И действительно, мы имеем ясные указания, что рубидий далеко не остается безучастным в тех реакциях, какие идут в почвах. Так, рубидий всегда находится в золе растений и выбирается ими из тех его следов, какие наблюдаются в почве. Есть же растения, например свекла, зола которых особенно обогащается рубидием. Таким образом, несомненно и для рубидия, подобно калию, только часть его уносится в растворимой форме в море, часть же задерживается живым веществом и вступает затем в иной – неизвестный пока нам – цикл изменений. Есть и другое указание на участие рубидия в химических реакциях, происходящих в почвах. Это природная история селитр. Как известно, селитра в природе во всех ее разностях всегда является поверхностным минералом, образующимся при участии биохимических почвенных процессов. Мюнтц наблюдал рубидий в натриевой чилийской селитре. Шмидт нашел его в калиевой кавказской селитре. Эти последние наблюдения были подтверждены позже мною для селитры Терской области, причем, кроме рубидия, я наблюдал в этой селитре и цезий.

До сих пор это все отдельные наведения. У нас нет сейчас данных для решения – и даже прочной постановки – вопроса, так как в своих анализах почвоведы определяют калий, не вводя поправки на рубидий. Обогащается калий в почвах рубидием или обедняется? Случайно или связано с потребностями организмов нахождение рубидия в золе высших растений? Не накапливается ли рубидий в почве, аналогично фосфору?

Для решения этих и других вопросов необходимо, чтобы почвоведы обратили внимание на выделяемый ими калий, сделали пробы в нем на рубидий и, по возможности, определили их количественные соотношения.

Шишаки, июнь, 1913 г.

ОБ УЧАСТИИ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА В СОЗДАНИИ ПОЧВ*

1. Станным образом вопрос о значении живого вещества в создании почв остается сейчас в пренебрежении. Внимание исследователей не направлено в эту сторону, здесь даже не произведена работа охвата собранного научного материала, выделения из него научных задач для изучения. Достаточно обратиться к любому из больших, лучших курсов почвоведения, например, к последнему изданию одного из полнейших, использовавших мировую почвенную литературу, к курсу проф. К.Д. Глинки для того, чтобы в этом убедиться.

* Работа написана в 1919 г. и в виде рукописи хранилась в Центральной научной библиотеке АН УССР. Впервые опубликована в: Наука и жизнь. 1984. № 1. С. 8–19. В дальнейшем опубликована в: *Сытник К.М. и др. В.И. Вернадский. Жизнь и деятельность на Украине.* Киев: Наук. думка, 1988. С. 186–214.

В небольшой главе, посвященной, например, влиянию на почву животных организмов, и небольшой литературе, в ней приведенной, ясно сказывается такое, не отвечающее сущности дела, состояние наших знаний, наших исканий в этой области¹. Между тем значение живого вещества для создания почв всеми высказывается, является общим местом, лежащим в основе всех наших представлений о почве.

Уже великие натуралисты XVIII столетия – Линней и Бюффон – ясно сознавали это значение. Линней, обобщая эти знания в этой области, считал гумус продуктом окончательного разложения растительных организмов и с ними тесно связывал глину; известняк он признавал окончательным продуктом разложения животных тел². Та же мысль усвоена Бюффоном, м.б. и независимо от Линнея. В блестящих страницах своей «Естественной истории», посвященной минералам, Бюффон дал яркую и правдивую картину значения организмов для создания почвы. Несомненно, он первый, кажется мне, охватил вопрос во всем его значении и, хотя он преувеличил роль этого процесса в общей истории земной коры, его геохимическое значение, он дал нам совершенно правильные представления о масштабе влияния живого вещества на образование почв³. Эти идеи в той или иной форме проникли все почвоведение, и мы видим, что оно лежит в основе всех работ и всех воззрений в этой области знаний в течение всего XVIII, XIX веков, нашего времени.

Девятнадцатый век дал дальнейшее их развитие благодаря, с одной стороны, вхождению в науку идеи о почве, как естественном теле⁴, с другой – благодаря развитию наших представлений о роли в генезисе почвы наземной высшей растительности и микроорганизмов, главным образом растительных.

Значение наземной высшей растительности было выявлено и внесено в науку, благодаря развитию географического изучения почв. Одновременно работы ученых над почвами Индии, Северной Америки и России дали нам прочную базу для наших суждений. После работ В.В. Докучаева и его учеников эти идеи стали непререкаемым достоянием науки и лежат сейчас в основе всех наших представлений о генезисе почв на всем протяжении земного шара. Сейчас никто не сомневается, что почва есть в значительной мере создание наземной растительности, в исключительных случаях мы признаем значение

¹ См. К.Д. Глинка. Почвоведение. 2-е изд. СПб., 1915.

² Ср. С. Linnaeus. Systema naturae, 1788.

³ Ср. G. De Buffon. L'Histoire naturelle des mineraux. Я пользовался изданием Де Ласенда см. G. De Buffon. Oeuvres. P., 1825. Этот том «Естественной истории» Бюффона вышел в 1783 г. Мне кажется, на Бюффона незаслуженно не обращается внимание в истории почвоведения. Влияние Бюффона на всю историю мысли гораздо больше, чем это можно видеть по ссылкам на него в научных работах. Его читали все и его многократно издавали в течение XVIII века и первой половине XIX. В этом труде, между прочим, Бюффон первый, мне кажется, дает почвенные разрезы, изучает структуру и последовательность морфологических изменений почв. Он ставит проблемы, и сейчас заслуживающие нашего внимания, таковы его наблюдения над временем накопления гумуса в почве Лангедока с помощью почвенных разрезов почв одной и той же местности через десятки лет. В нашем представлении о медленности изменения и образовании почв мы, может быть, напрасно оставили здесь область конкретных наблюдений. Эта мысль Бюффона заслуживает внимания.

⁴ Историю этой идеи см. В. Вернадский. Научное слово [1904, № 6. Страница истории почвоведения (памяти В.В. Докучаева)].

для нее растительности пресных вод – например, для торфяных почв – но и здесь нельзя отрицать участия наземных растений – мы имеем в лучшем случае процесс двойственный – одновременное участие пресноводных растений и растений чисто наземных, причем часто водные растения имеют всегда второстепенное значение¹. Сейчас отошло в сторону, как исторический пережиток, представление о морском происхождении некоторых наших почв (в частности чернозема), с которым боролся еще в 1880 г. Докучаев. Мы увидим ниже (§ 3), что факт такого чисто наземного растительного происхождения наших почв является характерной чертой геохимического механизма нашей планеты.

Эренберг был, кажется, первый, который указал на значение микроскопической жизни в истории почв. В ряде мемуаров, представленных в Прусскую Академию наук в Берлине и ею напечатанных в течение 1830–1870 гг., он дал огромный материал наблюдений этого рода для почв и поверхностных образований всего земного шара, недостаточно использованный и до сих пор почвоведом². Однако лишь после работ Пастера – с 1860 г., когда перед нами открылся мир микробов, организмов по величине недоступных для Эренберга, стало ясно чувствоваться первостепенное значение мельчайшей жизни для создания почв.

Все увеличивается ряд работ, выясняющих механизм этого процесса. В 1880-х гг. великое обобщение Виноградского о нахождении на земле автотрофных организмов, независимых от световой энергии Солнца и черпающих свою энергию из минералов, еще более углубило перед нами значение микроскопической жизни в почве. Однако и сейчас, несмотря на все ясное значение микроорганизмов для истории почвы, механизм этого влияния не выяснен даже в общих чертах. Мы имеем здесь область великих возможностей, во многом еще для нас темную и жаждущую энергичной, систематической работы исследователя.

Микроорганизмы, играющие роль в почвах, оказались, вопреки мнению Эренберга, не животными, а растениями. Гетеротрофные грибы, зеленые (частью миксотрофные) водоросли, гетеротрофные и автотрофные бактерии являются теми могучими деятелями, которые создают в значительной степени морфологию почв, ту физико-химическую среду, в которой происходит дальнейшее существование наземной растительности, древесной и травянистой. В этой среде они строят почву.

Но почва создается не одним только живым растительным веществом. Несомненно, огромное значение имеют в этой работе и организмы животных.

Сейчас совсем почти забыта почвоведом микроскопическая животная жизнь, на значение которой мы имеем многочисленные, важные, но большей частью косвенные указания в наблюдениях зоологов уже со времен Эренберга. Но и более крупный, видный глазом мир животных едва захватывается почвоведением, может быть вследствие преобладания в современной науке

¹ Нельзя не обратить внимание на то, что пресноводные низшие растения играют роль, может быть гораздо большую, чем это обычно думают, в создании большинства почв – например, водоросли в генезисе чернозема (развиваются весной и в дождливые дни).

² Главная сводка – *C. Ehrenberg. Zur Microgeologie. L., 1852.*

лабораторного изучения над точным наблюдением процесса почвообразования в живой природе, нас окружающей. Значение животных в образовании почв выдвинуто в XVIII веке.

И Линней и Бюффон признавали огромное значение животной жизни. Их идеи были восприняты, но не привели к росту научного наблюдения и к накоплению научных фактов. В науку вошло лишь общее представление о несовместимости огромного значения животной жизни для образования и существования почв. Кажется, только роль роющих животных и до некоторой степени бегающих обратила на себя более серьезное внимание натуралистов и вызвала систематические, конкретные наблюдения. Они являются оазисами среди безбрежного моря общих суждений или рассеянных, но никем никогда не сведенных в единое целое, не известных почвоведом многочисленных наблюдений в мировой биологической и географической литературе. Для роющих животных наиболее обратила на себя внимание роль дождевых червей, благодаря работам Дарвина¹, и некоторых насекомых (главным образом работы Браннера для тропических и подтропических почв). На значение роющих позвоночных, о чем имеется огромная масса наблюдений, не сведенных и рассеянных в зоологической литературе, обратил внимание почвоведов исследователь русских лесных и степных почв В.В. Докучаев при изучении кротовин².

Еще менее обратило внимание почвоведов давно указанное натуралистами-биологами значение передвижения стад бегающих животных для уплотнения почвы и изменения характера растительности. Кажется, впервые английский натуралист Бельт выдвинул значение этого процесса для объяснения безлесности степей, пампасов Южной Америки. Он нашел местных последователей среди натуралистов, имевших дело с теми же самыми

¹ Дарвин в своих многолетних наблюдениях продолжал старую традицию английских местных наблюдателей природы. На значение дождевых червей для почвы обращал внимание уже в XVIII веке натуралист Сельборн Уайт, значение и влияние которого в истории естествознания в Англии чрезвычайно велико.

² Долголетние исследования только подтвердили значение этого процесса, в частности, например, для юга России работы проф. А.В. Набоких. Мы находимся здесь только на самой первой ступени наших представлений о значении этих явлений. Позволю себе несколько слов *pro domo sua*. В 1888 г. без моего ведома была опубликована В.В. Докучаевым моя студенческая работа (*В. Вернадский*. Труды императорского Вольного Экономического Общества. СПб. – 1888), в которой я пытался количественно учесть значение этого процесса для байбака – *Areomys bobak* Н. С тех пор наблюдения, как это ни странно, до сих пор почти единственные, цитируются в почвенной и зоологической литературе. Недавно умерший зоолог А.А. Силантьев, как я знаю, имел большие сомнения в правильности этих подсчетов, но, к сожалению, он так и не опубликовал имевшийся у него материал, и мы не имеем возможности судить о верности сомнений этого почтенного ученого. В Новомосковском уезде Екатеринбургской губернии я наблюдал тогда лишь остатки работы *Areomys bobak*, сам проводивший ее сурок уже исчез в то время (1887 г.) из этих мест. Через 27 лет после этого, в 1914 г., путешествуя в горном Забайкалье, в степи, примыкавшей к бассейну Онона и Борзи, мне пришлось увидеть гораздо более грандиозный процесс такого рода, производимый поселениями живых сурков на пространстве 2-х квадратных верст. То, что мною воссоздавалось в молодости на основании остатков, теперь увидел я в действительности. Было бы желательно, чтобы местные натуралисты – пока не поздно – обратили внимание на этот процесс, учли его количественно, ибо эта работа степных грызунов совершенно несомненно резко сказывается на структуре почв этой части Забайкалья. Мы получили таким путем данные для понимания и почв.

областями. Лишь недавно Г.Н. Высоцкий обратился к изучению этого явления, скотосбоя, по его номенклатуре, с более общей точки зрения почвовед¹. Несомненно, мы здесь находимся лишь при начале выяснения явления, имеющего огромное значение с точки зрения создания почвы.

Таким образом, в огромной области явлений живого вещества для животных, вся жизнь многих классов, родов и видов которых нередко связана с почвой не менее значительно, чем жизнь наземной растительности, взаимоотношение их с почвой не выяснено и, очевидно, благодаря этому наши представления о происхождении почвы и ее физико-химических свойств не только не полны, но, вероятно, и неверны.

3. Во всем этом рассуждении о почве мы оставили в стороне целую область явлений, которая действительно обычно в почвоведении не принимается во внимание, но которая в геохимии должна быть принята во внимание и изучаться одновременно с почвою, как проявление одного и того же процесса, раз только мы признаем почву естественным телом. Это те, аналогичные почве, образования, которые покрывают дно водных бассейнов – *естественные грязи*².

Рассматривая влияние организмов – живого вещества (§ 4) на почву, мы не можем оставить без рассмотрения грязей, так как, только принимая их во внимание, геохимическая роль живого вещества в почвах вырисовывается нам во всех ее размерах (и естественном значении). Животная и растительная жизнь теснейшим образом генетически связаны между собою; они представляют с геохимической точки зрения единое, нераздельное целое, подобно тому, как геохимически единой является и жизнь наземная и водная. Все организмы образуют одно живое вещество, могущественно меняющее окружающую его безжизненную среду (§ 4).

Процессы, происходящие в грязях, подверглись научной обработке только в XIX столетии, и лишь во второй его половине выяснилось, что грязи являются столь же своеобразными естественными телами, какими должна считаться и почва, что их структура, их свойства, их состав являются следствием закономерных процессов, связанных как с их подпочвой, водной средой над ними находящейся, живой материей их проникающей и их окружающей, так и с физико-географическими условиями земной поверхности, в которой они находятся. С одной стороны, изучение фауны дна – главным образом глубоководные экспедиции, начиная с экспедицией Карпентера и Мозли в 1860-х гг., но, главным образом, «Челленджера» в 1873–1878 гг., выяснили нам закономерность этого процесса. Работы шотландского натуралиста Меррея и бельгийца Ренара проложили здесь новые пути и обратили наше внимание на эти явления³. С другой стороны, к этому же самому привело изучение целебных

¹ См. Г. Высоцкий. Ергени. СПб., 1914. Работы Бельга и других натуралистов, изучавших, главным образом, Аргентинские степи, мне недоступны в Киеве, точно так же, как и мои выписки, находящиеся в Петрограде, почему я их и цитирую.

² Об этом см. В. Вернадский, I с.

³ Несомненно, и здесь мы имеем огромную работу прошлого. Изучение грязи дна Средиземного моря работами итальянских и австрийских ученых еще в XVIII веке, в частности например Беккариа или гр. Марсилья в XIX в., труды Делиля, касающиеся значительных пространств прибрежных морей и океанов, положили основы нашим знаниям в этой области. Но значение явлений в природе было понято лишь после «Челленджера».

грязей России; здесь работы профессора Новороссийского университета Вериги с начала 1880-х гг. явились для всех дальнейших работ путеводной нитью, он нашел здесь новую область явлений природы, доказал биохимический характер процессов грязеобразования. Несколько позже развитие лимнологии привело (?) к изучению осадков дна пресноводных бассейнов, [используя] приемы и вопросы, созданные в океанографии.

С точки зрения влияния жизни на эти процессы перед нами раскрылась новая область. В грязи водных бассейнов резко выступило на первое место значение не растительной, а животной жизни. В морских глубинах нет места зеленым автотрофным растительным организмом, захватившим сушу, – здесь царство животных, и лишь разнообразные мелкие бактерии и грибы изменяют эту картину¹.

Подобно тому, как это наблюдается и в наземных почвах – в водных грязях огромное значение имеют растительные микроорганизмы, вызывающие в них разнообразнейшие – иные, чем в почвах – биохимические процессы. Но несмотря на это, в общем на земной поверхности мы видим два различных процесса изменения поверхностных слоев ее – на суше это изменение производится главным образом животными.

4. Из всего вышесказанного ясно, как малы и случайны наши знания организмов для образования почв. Занявшись в последнее время изучением влияния на геохимические процессы, я столкнулся с тем, что область уже имеющихся в науке, но оставленных без внимания фактов и наблюдений позволяет в значительной мере увеличить наши представления об этой роли. Оказывается, что не только есть целые группы организмов, роль которых в почвообразовании не учитывается почвоведом – но и характер влияния организмов во многом иной, глубже и значительнее, чем это принимается в науке, выражается в научной литературе, в частности в сводках и компендиях по почвоведению.

В связи с этим я попытаюсь на этих страницах возможно сжато наметить основные черты влияния организмов на процессы почвообразования, поскольку они выяснились мне во время моей работы. Ибо я считаю важным обратить внимание почвоведов на эти явления, раньше чем выйдет из печати мой труд, т.к. во всей этой области чувствуется огромный недостаток фактов, вследствие того, что нет побудительных причин для их сбора. Внимание наблюдателей не направляется, между прочим, в эту область и потому, что научное значение сбора самих фактов, сюда относящихся, неясно. Во всем дальнейшем изложении я буду брать процесс в его целом: как в тех частях, которые обратили на себя внимание в почвоведении, так и в тех, которые не вошли в научное сознание; но остановлюсь главным образом на тех сторонах явления, которые кажутся мне упущены сейчас в научном сознании.

Прежде, однако, чем перейти к изложению этих соображений, необходимо остановиться на выяснении понятия «живого вещества», которым при-

¹ Нельзя не отметить, что этот вывод, может быть, потребует изменений, т.к. есть указание на нахождение зеленых водорослей на глубинах 1–2 километров. Вопрос требует проверки и исследований.

дется постоянно пользоваться, как только мы перейдем к изучению влияния организмов на почву на основе общих геохимических законов¹.

Под именем *живого вещества* я буду подразумевать всю совокупность всех организмов, растительности и животных, в том числе и человека. С геохимической точки зрения эта совокупность организмов имеет значение только той массы вещества, которая ее составляет, ее химическим составом и связанной с ней энергией.

Очевидно, только с этой точки зрения имеет значение живое вещество и для почвы, т.к. поскольку мы имеем дело с химией почв, мы имеем дело с частным проявлением общих геохимических процессов.

Совокупность организмов одного и того же вида будет представлять *однородное живое вещество*; в том же случае, когда мы имеем дело с совокупностью неделимых различных видов организмов, мы будем иметь дело с *разнородным живым веществом*².

Однако живое вещество – в геохимическом смысле – не может обнимать только живые организмы.

Уже беря их для учета, например, взвешивая их для представления об их массе, мы одновременно с живым организмом и с веществом, входящим в его состав, взвешиваем неживые остатки пищи, экскременты и т.п., в них находящиеся. Это совершенно правильно с геохимической точки зрения, ибо все это вещество охвачено влиянием живого организма, химические процессы в нем идущие, соединения, в них получаемые, являются его следствием. Мы

¹ Работа моя, о которой здесь идет речь, еще не напечатана. Она посвящена живому веществу в земной коре и его геохимическому значению. Мысли эти давно занимали меня и я думаю изложить их в последующих томах моего «Опыт описательной минералогии», издаваемого Российской академией наук с 1908 г. Однако для меня теперь выяснилось, что едва ли я смогу закончить эту работу в предположенном масштабе (вышел лишь I том и 1-й выпуск II, следующие его выпуски печатаются, а между тем все издание должно заключать не менее 10 томов), и я решил выпустить отдельно последние тома его, посвященные живому веществу. К тому же в 1917 г. я должен был уехать из Петрограда (прервать экспериментальную работу), а революция внесла чрезвычайные затруднения в печатание книг. С конца 1917 г. я неустанно работал над этой темой, хотя бедность книжных собраний Полтавы и Киева чрезвычайно затрудняла работу. Мне все-таки удалось привести ее к такому виду, что я надеюсь начать ее печатать, выпуская выпусками I и II ее тома. III том должен выйти значительно позднее. В связи с этим трудом, и, в частности, с понятием о живом веществе, в 1918–1919 гг. я делал доклады в Полтавском обществе любителей природы, Киевском студенческом научном обществе, Киевском геологическом кружке (при университете св. Владимира) и Киевском научно-философском обществе.

Доклад, прочитанный мною в Полтавском обществе и повторенный в Киевском студенческом, был мною послан летом 1918 г. в Москву, в редакцию «Природы», но до сих пор не появился в печати. Программа сбора материала для химического и спектроскопического исследования живого вещества была в 1918 г. отлитографирована Киевским студенческим научным обществом. На средства Украинской академии наук в 1919 г. удалось организовать, поскольку это возможно в переживаемое тяжелое время, систематический сбор животных и растений для исследований этого рода и их химическое изучение (благодаря любезному содействию С.Л. Франкфурта в лаборатории сахарного синдиката). Результаты этой работы будут публиковаться в изданиях Украинской академии наук.

² Очевидно, можно брать и более крупные деления организмов – роды, классы, семейства и т.д. и получать родовые и т.д. однородные вещества. Однако, мне кажется, только вид (и более мелкие деления – расы) имеет в природе реальное значение, неделимые его находятся в одном месте вместе. Род, класс, семейство являются более логическими созданиями.

должны даже расширить это неизбежное проникновение в состав живого вещества, заведомо лишённого жизни, т.к. организм теснейшим образом связан с окружающей его безжизненной средой и существует живым только в связи с некоторым – небольшим – количеством окружающей и проникающей его внешней, большей частью безжизненной среды. Организм, лишённый ее, живым не бывает, и если мы его таким считаем, то такой организм будет только лишь продуктом нашего отвлечения, а не реальным явлением природы.

Исходя из этих и других соображений, на которых я здесь останавливаться не буду¹, я буду во всем дальнейшем изложении включать в живое вещество: 1 – все живые организмы – животные и растительные, в том числе и человека; 2 – проникающие их и пристающие к ним элементы внешней среды (воздух, воду и т.п.), поскольку это необходимо для того, чтобы они находились живыми в промежутки времени учета, по возможности короткой; 3 – ту пищу или посторонние тела (земля, камешки и т.п.), которые захвачены организмами (например, земля, захваченная в пищеварительный аппарат червей или гусениц) в тот же промежуток времени; 4 – продукты выделений организмов в течение того же времени (моча, газы, экскременты, пот и т.п.); 5 – те части организма, которые в этот же промежуток времени теряются (листья, ветви, пух, перья, клетки эпителия, волосы и т.п.) и 6 – те трупы, которые в этот же промежуток времени образуются благодаря смерти данных организмов.

Взятая в таком смысле живая материя является определенным целым, поддающимся точному учету, могущим быть сведенным к массе, энергии и химическому составу. Она может быть сравнима с другими массами, участвующими в геохимических процессах – водой, воздухом, минералами и горными породами, находится с ними в известных взаимоотношениях и является одним из важнейших факторов этих процессов на земной поверхности, в области нахождения живой материи, в так правильно названной в 1875 г. Э. Зюссом – биосфере.

В биосферу входят и почвы. В них живое вещество играет столь же господствующую роль во всех их геохимических процессах, как и в других продуктах биосферы.

5. Значение живого вещества для образования почвы сказывается в весьма различных формах проявления его воздействия на почвообразовательный процесс.

Можно различить следующие формы этого проявления:

1. Живое вещество действует массой и составом заключенного в нем вещества. Как таковое оно составляет часть почвы или само или же продукты его изменения, отмирающие и отмершие живое вещество (§ 6–8).

2. Живое вещество обуславливает мелкоземистость почвы (§ 9–10).

3. Оно изменяет ее структуру, благодаря разрыхляющей или цементирующей деятельности составляющих его организмов или характеру продуктов их отмирания.

4. Оно непосредственно влияет на химические процессы, идущие в почве, превращая их в процессы биохимические.

¹ Эти соображения развиты в определении живого вещества. Обосновано в указанном раньше труде.

5. Оно вызывает чрезвычайное смешивание химических элементов в почве, являясь главным фактором этого смешения, и этим обуславливается ход всех химических реакций, идущих в почве (§ 13–14).

6. Оно приносит издалека вещество в состав почвы, нарушая этим соотношение между почвой и подпочвой, действуя в этом отношении или своей массой или влияя на этот процесс косвенно.

Все эти изменения производятся за последние тысячелетия с чрезвычайно интенсивной, со все увеличивающейся силой той частью живого вещества, которую составляет культурное человечество. Это влияние я оставляю здесь без рассмотрения. Легко, однако, убедиться всмотревшись в этот процесс, что по существу и здесь, как и в других геохимических явлениях, труд и жизнь человечества с большой интенсивностью и разносторонностью действует в том же направлении, в каком действуют и другие части живой материи¹. Геохимическое значение человечества отвечает геохимическому значению прочего живого вещества.

К сожалению, нет возможности определить, какую часть почвы составляет живое вещество и продукты его изменения. Мы можем только утверждать, что оно составляет очень значительную часть для всякой почвы и особенно много его для богатых гумусом почв черноземных, болотных, красноземов и т.д.

Определять его по современным анализам почв, по процентному содержанию в них органических веществ невозможно, т.к. этим путем мы получим далекие от действительности минимальные цифры, ибо при анализе почвы из нее старательно извлекаются все видимые глазом остатки организмов – животных и растительных – остатки корешков, насекомых и т.п., все равно являются ли они живыми или мертвыми.

«Гумус» анализов представляет углеводородистое вещество, которое входило в состав микроорганизмов и потерявших организованное строение органических веществ почвы, происшедших разложением живого вещества.

Принимая во внимание, что процент «гумуса» в почвах доходит в некоторых случаях до 15–20% и даже более (для болотных и некоторых тропических почв) и что он составляет всегда меньшую часть по весу живой материи², необходимо заключить, что *живое вещество и продукты его изменения составляют большую часть почвы, по-видимому, много десятков процентов ее веса*. Это верно даже по отношению к той почве, которая выявляется в результате современных химических анализов³, которая далеко не соответствует почве, изучаемой нами в естественных условиях, и почве – естественному телу.

¹ Сравни об этом для других процессов: В. Вернадский. Опыт описания минералов. I, СПб., 1908–1914.

² В живой материи главную часть по весу составляет вода. Даже в наземных организмах, более богатых углеродом, процент его едва ли когда-либо доходит до 10%. К сожалению, анализов, сделанных в этом направлении, нет. Они теперь нами делаются.

³ К живой материи и к продуктам ее распада в этих анализах отойдет значительная часть воды, почти весь азот и много зольных частей. При этом, благодаря переходу всех элементов в окислы, анализ даст нам неверные представления о реальном распределении элементов в живом веществе почвы и в ее «скелетной части».

Химические анализы делаются над частью природной почвы. Не принимаются во внимание и не взвешиваются выброшенные из почвы мелкие, видимые глазом организмы и их остатки или остатки и части крупных организмов. Но эти остатки – по весу нередко составляют несколько процентов, может быть даже в иных случаях [несколько] десятков процентов почвы, и, очевидно, для ее познания как *естественного тела* они должны быть причислены к весу живой материи и продуктов ее распада, проявившихся в почве.

Ибо исключение их из почвы обусловлено путем неправильного логического заключения.

Критерием принадлежности или непринадлежности вещества к почве мы здесь принимаем *на глаз* (антропоморфический метод суждения). То, что видно простому глазу из живого вещества или продуктов его распада, сохранивших следы организованного строения, нами выбрасывается из почвы, считается не входящим в ее состав и при анализе не принимается во внимание. Такое же живое вещество, только более мелкое и более мелкие части его распада, сохранившие следы организованного строения, видимые при большом увеличении, входят в состав почвы. Очевидно, этот прием учета количественного состава почвы был бы допустим и не являлся бы, как он является, искажающим наше числовое представление о почве, если бы отбрасываемые организованные части тоже отдельно анализировались и процентное отношение их к взятой для анализа пробе было указываемо. Этого, к сожалению, не делается.

Обычно химический анализ не дает ясного представления о количестве живого вещества в почве (а следовательно, и его значения) еще и потому, что почва для анализа высушивается – следовательно, теряется огромная часть вещества (воды и летучих органических веществ), входящего в живое вещество, и его отмершие части. Мы знаем, что при высушивании до воздушно-сухого состояния даже при обычной комнатной температуре живое вещество обычно теряет свыше 60–70% своего веса. Следовательно, при анализе искусственно значительно понижается процентное содержание живого вещества, ибо скелетная часть почвы содержит воды значительно меньше, чем во всяком случае воды при этих условиях удаляемой¹.

Необходимо иметь в виду, что мы имеем в этих анализах почвы, искажающих содержание в ней живого вещества и продуктов его распада, резкое противоречие с тем принципом, который лежит в основе современной педологии – с представлением о почве как естественном теле. Во всех наших других работах в почвоведении, наблюдая почву в природе в ее естественном состоянии, мы принимаем во внимание и в наши расчеты как живое вещество,

¹ Несомненно, часть этой воды находится в почве не в форме соединений и не в составе живого вещества, а в свободном или слабо связанном физическом состоянии, но – количество такой воды нам не известно благодаря быстроте ее усвоения живым веществом и легкости ее им отдачи. Ясно, что при обычном методе анализа почв количество живой материи и ее отбросов, исчисленное из гумуса и азота, принимая удаленную воду, должно быть значительно (вероятно, более чем вдвое – % летучих веществ и воды, удаляемых из организмов в условиях опыта 60–80%) увеличено как в абсолютной его величине, так и в относительных процентах. Большая часть воды почвы, вероятно, связана с живым веществом и его продуктами (...), а не со скелетной частью почвы.

так и продукты его распада целиком и нетронутыми; и их присутствием в значительной мере определяются ее изучаемые свойства. Между тем как мы анализируем почву, их в некоторой произвольной мере отбрасывая.

Поэтому было бы чрезвычайно желательным, чтобы были произведены иные, более рациональные химические анализы почв, которые бы дали нам более точное представление о его живом веществе. Это вполне возможно, учитывая и анализируя отбрасываемое организованное вещество и не приводя почву в воздушно-сухое состояние¹.

7. Необходимо остановиться еще на одном явлении, которое выясняется при применении понятия о живом веществе и почве и которое тоже указывает нам на известное противоречие между почвой, изучаемой в почвоведении в лаборатории, и почвой, изучаемой тем же педологом в природе.

При обычном исследовании в лаборатории почвовед отбрасывает из учета ту часть почвы, которая наиболее богата живым веществом и продуктами его распада, ту, где оно по весу преобладает над скелетной частью почвы, ибо он не принимает в учет самую верхнюю часть почвы.

Эта самая верхняя часть почвы, несомненно, играющая огромную роль во всех геохимических почвенных процессах, исчезая от точного количественного учета в текущей педологической работе, тем самым исчезает и в тех представлениях о почве, которые основываются на ее химических анализах; например, во всех работах, связанных с изучением географического распределения почв, их картографией на земной поверхности.

При анализе отбрасывают, например, ту самую верхнюю часть *естественной почвы*, которая образует лесную подстилку, дерновину луга или нетронутой степи.

Между тем эти части всегда переполнены живым и отмершим организованным веществом в большей степени, чем более нижние части почвы. Только в тех случаях, когда поднимаются какие-нибудь специальные вопросы, обращают внимание на характер и свойства этой верхней части и подвергают ее химическому изучению.

В *культурных почвах* наших полей верхняя часть уничтожена ежегодной обработкой, и потому особенной ошибки от непринятия во внимание верхних сантиметров ее не происходит, но и здесь, в почвах лесных, луговых искажающее влияние этой методики анализа ярко сказывается.

Если мы прибавим эти оставшиеся без внимания части к почве, изучаемой в лаборатории, то количество в ней живого вещества еще более увеличится, т.к. верхняя подстилка, гниющая и изменяющаяся с помощью биохимических процессов, вся проникнута живым веществом – видимым и невидимым: это вещество в ней резко преобладает над скелетной частью почвы.

¹ Очевидно, при таком анализе необходимо сделать прямое определение воды. Такой анализ должен делаться, учитывая влажность воздуха, при которой взят образец почвы и при которой он подвергается изучению, дабы можно было вести поправку и иметь представление о том количестве воды, которое содержится в почве в виде, несвязанном с живым веществом и с продуктами его распада.

Поправка получится, когда взять содержание при данной влажности воздуха воды в лишенной углеродистых тел скелетной части почвы. Эту воду надо вычестить из воды почвы, ибо вся остальная вода будет связана с живым веществом или связанными с ней углеродистыми телами.

8. Резко сказывающееся здесь противоречие между почвой, изучаемой в лаборатории, и почвой, изучаемой в естественных условиях, станет еще большим, если обратить внимание на то живое в ней вещество, которое находится в почве, но которое явно от нее независимо и так или иначе связано с живым веществом, вне ее находящимся. Несомненно, надземные части растений – травянистых и древесных, животные организмы, которые передвигаются или прячутся в почву, но которые живут на ее поверхности, – могущественно влияют на ее свойства и состав, но ни в коем случае не могут быть рассматриваемы как часть почвы.

Но это менее ясно, когда мы подходим к подземным частям растений и к таким организмам, которые, как некоторые личинки или грибы, никогда не выходят на земную поверхность, а живут и умирают в почве, как тот мир микробов и микроскопических грибов, которые мы невольно зачисляем в состав почвы. Точно так же надо сказать и по отношению к трупам организмов – животных и растительных, которые скапливаются на поверхности почвы и в конце концов в значительной своей части целиком входят своим веществом в ее состав.

Все такие проявления жизни мы должны включать в состав почвы, раз только идет вопрос о влиянии живого вещества на характер происходящих в почве процессов в зависимости от массы живого вещества, в ней находящегося. Это рассеянное в виде отдельных обособленных живых или отмерших выделений живое вещество можно учитывать в составе почвы, только принимая во внимание ее значительные площади, например, на десятине или гектаре.

Мы должны вносить поправку в анализ почвы, учитывая то количество вещества (и его состав), какое вносится на десятину или гектар корнями деревьев, трав, насекомыми, грызунами и т.п. или их трупами и продуктами их жизнедеятельности. Эти поправки, очевидно, увеличивают процентное содержание живого вещества в почве. Есть вопросы в почвоведении, где мы можем отбросить в сторону это проникающее в почву живое вещество, но есть другие, где мы должны его принимать во внимание; таков и тот вопрос, который стоит перед нами, – о массе живого вещества и продуктов его изменения, которые всегда входят в состав почвы, на определенную ее площадь.

Определение процентного содержания живого вещества на 1 десятину или 1 гектар почвы, очевидно, меняется в зависимости от культуры и от физико-географических условий местности. Только оно дает нам в руки точные данные для понимания генезиса почв, ибо во всякой почве оно составляет по весу многие десятки процентов и обуславливает все идущие в почве химические реакции. Надо иметь в виду, что именно эта живая составная часть почвы является носителем энергии, наиболее химически активной частью почвы. Задача ее учета совершенно разрешима, но не сделана; она неизбежно должна быть выяснена для всех видов почв разных местностей и культур, как только мы станем определять значение живого вещества в создании почвы.

Не только в этом частном вопросе, но и вообще при изучении геохимических процессов в почве мы не можем и не должны принимать за единицу работы маленькие ее площади. Мы должны переносить химический анализ, количественный учет в природу и не забывать, что для такого природного естественного тела, каким является почва, единица учета должна являться

большая площадь и лабораторное исследование должно быть приноровлено к ней же, а не к изучаемой пробе¹.

9. Живое вещество, вошедшее в состав почвы, обуславливает в ней самые разнообразные изменения ее свойств, обычно не учитываемые в почвоведении. На первом месте я остановлюсь здесь на его влиянии на мелкоземистость почвы (§ 5), ибо это свойство почвы является самым основным и резким ее отличием от всех других продуктов земной поверхности. Оно же определяет ход всех химических реакций в почве и делает из почвы активнейшую область с химической точки зрения в биосфере.

Способность давать тончайшие выделения твердого или полутвердого вещества является одним из характернейших проявлений живого вещества. Для получения этих мельчайших выделений вещества, отдельностей при термодинамических условиях земной поверхности надо затратить известную энергию. Мы не имеем на Земле более могучего дробителя материи, чем живое вещество.

Дробление твердой материи, превращение ее в пыль, песок, мелкозем происходит на поверхности земли следующими процессами:

1 – истиранием и отрыванием твердых частиц силою газа, например, ветра.

2 – истиранием и отрыванием твердых частиц при их движении в присутствии жидкости, главным образом воды.

3 – истиранием и отрыванием твердых частиц при движущихся твердых массах, например, при движении ледника или оползнях и сдвигах.

Во всех этих случаях сила, производящая истирание и дробление, сводится к *движению*, и всегда есть предел, обусловленный поверхностным натяжением, дальше которого уменьшение размеров пылинки не происходит. Этот предел меняется в зависимости от физических и химических свойств данного тела, но никогда в природе не достигает этим путем того размера, который создается живой материей. Всюду здесь при достижении известных размеров начинают действовать обратные силы и происходит сцепление мелких частиц, их прилипание, а не отрывание от большей массы тела. Не входя в дальнейшее рассмотрение этого, в общем еще недостаточно изученного явления, для нашей цели достаточно отметить факт наблюдения, что этими процессами в природе не получается такого дробления, какое, например, наблюдается в почве, грязи или рыхлых породах, генетически с грязью связанных. Мелкозем почвы должен иметь в значительной своей части иное происхождение.

К этим самым явлениям по существу могут быть сведены и те дробления минералов и горных пород, которые происходят в природе под влиянием вулканических извержений, газовых взрывов (в связи с диатремами) и т.п., хотя здесь всегда присоединяется дробление, связанное с химическими процессами и достигается меньшая величина пылинок.

¹ Совершенно аналогичные рассуждения должны быть применимы и к грязям. Здесь количество живого вещества и продуктов его изменения нередко является почти равным 100%, имея в виду выделения организмами CaCO_3 . Можно сказать, что живое вещество здесь иногда строит почву. В обычных случаях совершенно ясно, что его количество в грязях исчисляется всегда десятками процентов веса всей грязи.

Дробление твердого вещества, связанное с химическими процессами, может быть связано или с выделением твердого вещества из водных растворов или из газообразного состояния, или с распылением, происходящим путем химического изменения данного тела (таково, например, выветривание солей, благодаря потере ими воды, процесс, идущий широко в природе, например, для солончаков – распадение гидратов, сульфатов магния, натрия и т.п.). Этим путем, несомненно, могут получаться чрезвычайно тонкие мути и пылинки, может быть, вполне сравнимые по размерам с организмами. Мы должны, однако, иметь в виду, что такие химически происшедшие дробления играют второстепенную роль в составе почвы, и в огромном, подавляющем большинстве случаев эти процессы в ней генетически связаны с живым веществом¹.

Можно, наконец, отметить еще третий тип дробления, наблюдаемый в природе – чисто физического дробления под влиянием воздействия физических сил на твердое вещество: влияние перемен температуры (мороза и нагревания), явлений спайности, действия электрических разрядов. Надо думать, что и здесь мы имеем очень далеко идущее дробление, но не ясно, насколько оно может достигать пределов, которые дает живое вещество².

Наконец, третьим источником дробления твердой материи является живое вещество, которое для почвы должно считаться главным его агентом: 1 – потому, что оно составляет по весу главную или значительную часть почвы, 2 – потому, что в почве оно доводит эту мелкоземистость дальше, чем ведут другие физические или химические агенты, ибо оно размельчает уже распыленные другими процессами ее составные части.

10. Действие живого вещества как раздробителя материи связано с тремя его свойствами: 1 – с чрезвычайной индивидуализацией живой материи, с ее составом из отдельных, нередко мельчайших неделимых, 2 – с чрезвычайной распыленностью продуктов выделения живой материи или ее остатков и 3 – с распыляющей и дробящей деятельностью живой материи по отношению к окружающей ее среде в течение процесса жизни.

Чрезвычайно характерны ничтожные, микроскопически мелкие размеры неделимых живого вещества. Одноклеточные организмы в огромном большинстве случаев – микроскопической величины, а многоклеточные состоят из миллионов мельчайших неделимых; при разрушении все эти организмы, выделяя огромное количество газов, дают ничтожное количество зольных, иногда углеродистых частиц, размеры и вес которых во много раз ниже веса и размеров исходных для них организмов.

Отдельная клетка теоретически в пределе дает по крайней мере одну пылинку продукта ее распада. Предел достигаемого этим путем дробления материи превышает все возможности, которые дают в природе другими вышеуказанными путями. Величина бактерий, в огромном количестве находящихся в почве, доходит до долей микрона; при ее разрушении получают еще меньше по размерам пылинки вещества, входящего в состав почвы (доли

¹ Не ясно, можно ли этим путем достигнуть частиц невидимых, сотых и тысячных долей миллимикрона??

² По-видимому, чрезвычайно мелки те пылинки, какие дают для материальных частиц явления радиоактивного распада.

миллимикрона?). Но на этом не кончается мир мельчайших живых неделимых; перед нами начинает раскрываться мир ультрамикроскопических (до 0,06 μ размерам) и невидимых организмов мельче 0,06 μ , предел для которых для нас не ясен¹.

Перед нами как будто раскрывается дробление вещества в живом состоянии, доходящее уже до мельчайшего предела дробления без изменения свойств, почти до молекул? Чрезвычайно часто при разложении и распаде организма во время химического и биохимического процессов, с этим связанных, эти мельчайшие тела распадаются на части (благодаря сложности их химического состава) и дают таким путем еще меньшие пылинки вещества.

Так как живое вещество составляет значительную часть почвы и большая часть продуктов их распада остается в почве, то понятно, какую своеобразную и важную роль играет живое вещество в создании мелкоземности и рыхлости почв.

На этом, однако, влияние живого вещества не кончается. Еще больше, может быть, эта роль его сказывается благодаря биологическим условиям его существования. Весь мельчайший мир организмов в почве постоянно перетирает и раздробляет мельчайшие пылинки и песчинки, которые входят в ее состав. Все органическое вещество почвы, происшедшее из живого вещества, способствует химически разрушению и распаду мельчайших частиц почвы, а огромный мир микроскопических организмов, приводя их в непрерывное движение, продолжает ту работу истирания, которая производилась раньше над этими пылинками ветром или водою, но ведет это растирание в связи с химическими процессами, истирает и дробит мельчайшие и без того пылинки. Принимая во внимание всеобщее проникновение живого вещества в почву и ее непрерывное движение его микроскопических частиц, мы ни в коем случае не можем пренебрегать этой работой при учете мелкоземности почв. Наоборот, в этой работе приходится видеть один из важнейших факторов ее создания.

В этом же направлении идет и работа более крупных организмов, главное значение которых, однако, связано не с мельчайшим истиранием почвенных частиц, а с разрыхлением более крупных морфологических форм слежавшейся почвы. Наконец, живое вещество дает начало образованию мельчайшим почвенным пылинкам своими выделениями. Все организмы, крупные и мелкие, выделяют отдельные свои части, остатки которых (например, волос, экскрементов и т.п.) дают начало мельчайшим пылинкам. Даже газообразные выделения приводят иногда к тому же самому. Достаточно, например, обратить внимание на некоторые запахи, например, [на] запах терпенов наших хвойных лесов. При окислении они должны давать тончайшую муть смолистых веществ, часть которой неизбежно попадает в почву.

Чем больше мы станем вдумываться и изучать этот механизм природы, тем большее значение мы вынуждены придавать живому веществу в созда-

¹ Существование бактерий в почвах несомненно. Невидимые организмы, по-видимому, отличны от бактерий, не являются сапрофитами и принадлежат к животным организмам (см.). Их независимое нахождение в почве не доказано, и, если подтвердится, что они все *паразиты*, — невозможно. Но во всяком случае, отдельность их существования в теле другого организма должна сказаться очень часто и в отдельности их пылинок при гниении и гибели организма.

нии мелкоземистости почв, от которой зависят все ее физико-химические свойства и все ее значение как субстрата развития живого же вещества¹.

11. Нет надобности особенно останавливаться на *значении организмов для изменения физических свойств и структуры почвы* (§ 5). Это влияние может быть активное – прямой деятельностью организмов, и пассивное – деятельностью и свойствами тех веществ, которые образуются их разрушением или которые ими выделяются.

Мы уже видели указание на активную роль и значение в этом смысле некоторых классов организмов, которое вошло в сознание почвоведов (§ 2). Деятельность дождевых червей и грызунов всюду на земном шаре, термитов и муравьев в тропических и подтропических областях не вызывает сомнения.

Однако эти отдельные примеры открывают нам только небольшую часть грандиозного процесса, происходящего неуклонно и неизбежно во всякой почве всюду на земном шаре всеми животными организмами, роющими свои жилища в почве, прорывающими в ней ходы, ею питающимися и пропускающими ее через свои пищеварительные органы, цементирующие ее частички и их сортирующие по крупности зерна или по свойствам почвенных отдельных частей. Эта деятельность всего животного мира, живущего в почве и на почве, во много раз превышает ту деятельность дождевых червей, термитов, муравьев, грызунов, которая обратила на себя внимание педолога и отчасти им учитывается.

Ее учет, несомненно сейчас является одной из очередных задач научной работы. При этом неизменно возникает ряд интереснейших биологических вопросов, например, вопрос о вертикальном передвижении подземного населения почвы и подпочвы в связи с суточным вращением Земли и временами года.

Ту же самую работу производят и растения, частью разрушая и разрыхляя или цементируя прилежащие к их корневой системе части почвы и нередко вызывая характернейшие формы ее строения, например, кочковатую форму девственной степи Евразии.

Грибы и лишайники в различных формах играют, в свою очередь, большую, требующую внимательного изучения роль в том же самом процессе².

12. Никаких сомнений не вызывает *влияние живого вещества на химические процессы в почве* (§ 5). Эта роль так велика, что так или иначе *все процессы в почве связаны с участием живого вещества или продуктов его изменения*. В широком понимании этого слова все эти явления можно считать биохимическими.

Можно и здесь выделить разные стороны такого влияния живого вещества.

¹ Еще более резко идет тот же процесс под влиянием живого вещества в *грязах*. При диагенезе ее это явление живой материи отражается в происхождении из них осадочных пород – например, в мергелях и «глинах».

² Несомненно, огромное значение, может быть даже большее, имеет в этом смысле деятельность организмов *гряды*, например морской. Огромный и разнообразный мир червей и моллюсков совершает работу, должно быть, по интенсивности превышающую роль животных суши. Многие из этих организмов обладают могучими механизмами для разрушения твердых пород и способствуют их раздроблению.

Мы имеем здесь:

1 – влияние микроскопических организмов, микробов на химические процессы почвы. Эти явления более или менее точно выяснены для истории азота, водорода, серы, фосфора, углерода. Образование гумуса и торфа представляет такого рода процесс. Едва ли, однако, можно сомневаться, что эти процессы гораздо более распространены и касаются других химических элементов, кроме перечисленных. По-видимому, участие микроорганизмов очень велико в выветривании алюмосиликатов, происходящем в почве, и эта область явлений заслуживает самого серьезного внимания¹.

2 – Влияние на все процессы выветривания CO_2 выделяемой в различных условиях организмами в почве, как во время их жизни, так и в процессах их гниения, связанном с развитием флоры микробов. Это влияние организмов на процессы выветривания проникло сейчас в сознание натуралистов², но все еще до сих пор во многих основных своих чертах не учтено и не выяснено в почвоведении.

¹ В литературе мы имеем отрывочные наблюдения этого рода, в частности по отношению к разрушению каолинового ядра в алюмосиликатах, производных от каолинов. Процесс отделения алюминия от кремния, связанный в каолинах и вообще в глинах с этим распадением, приводит к образованию гидратов глинозема. Это распадение в природе никогда не происходит при обычных реакциях выветривания на земной поверхности. Каолиновое ядро, в которое входит алюминий алюмосиликатов и которому приходится придавать кольцевое строение из элементов $\text{R}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (см. *Вернадский В.И.* – Bull. Soc. Nob. de Moscou. M., 1891. *Ego же. Zeitschrift f. Kryst. Ego же. Минералогия. Ego же.* – Изв. Акад. наук), распадается только при действии очень высокой температуры, крепких минеральных кислот при нагревании (особенно H_2SO_4) и т.п. В природе оно наблюдается в местах одновременного действия кислот и относительно высокой температуры (например, в вулканах, сольфатарах и т.п.) или в таких процессах выветривания, в которых приходится допустить действие микроорганизмов, обычно являющихся столь же могучими агентами изменения, как высокая температура или кислоты. Такого рода процессы широко распространены в подтропических и тропических – латеритовых – почвах, где выделяются гидраты окиси алюминия разложением глин, и в тропических островах, богатых гуано, и некоторых пещерах теплых стран, где идет выделение алюмофосфатов распадением алюмосиликатов. Но тот же процесс идет и в нашем климате, например, в процессах низких западин в лесостепи, в деградированном черноземе Европейской России, где под влиянием организмов происходит аналогичное латеритовым почвам, но менее интенсивное разложение глины или алюмосиликатов с образованием гидратов окиси алюминия и окиси железа. Очень возможно, что деградация чернозема при надвигании леса отчасти с этим связана, об этом явлении в Моршанском уезде Тамбовской губернии я делал в 1910 г. доклад в Московском Почвенном комитете, оставшийся ненапечатанным. В лесостепи Моршанского уезда в этих западинах можно было констатировать мощное развитие мелких организмов, среди которых было много диатомовых (определены частью А.Б. Миссуной. Сборник статей в честь В. И. Вернадского. М., 1912 с.). Основываясь на работах Меррея и Ирвина (*I. Murray a. R. Irvine. Proceedings of R... of Edinb., XIX, Ed, 1983*), можно было бы думать, что диатомовые обладают способностью разлагать каолин – ядро $\text{R}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ – для добычи из него нужной им кремнекислоты. Любопытно, что единственный мне известный анализ диатомовых (океанического планктона), произведенный Андерсоном (см. *I. Murray a. C. Renard. Deep deposits. Challenger. Rep., Vol. L. P.*) содержит 1,5% Al_2O_3 . К сожалению, работа Меррея и Ирвина не обратила на себя внимание ботаников, хотя вывод их о способности диатомовых разлагать глину с выделением из нее SiO_2 прошел в сознание геологов (например, у Hang. *Traité de géologie, I, p.*) Ввиду важности вопроса, необходимо повторить опыт Меррея и Ирвина в более чистых культурах (они определили только род диатомовых – *Navicula* sp.), для чего я при помощи Н.Г. Холодного начал на средства Украинской академии наук в Киеве работу в 1918 г.

² См., например, *C. Van Hise. Atreatiae of metamorph. IV. 1904.*

3 – Влияние организмов на изменение явлений, связанных с водой, в частности, – задержание ими и поглощение влаги.

4 – Влияние организмов на изменение атмосферы, окружающей почву. Кроме уже указанного влияния на CO_2 и H_2O из атмосферы, нельзя забывать, что свободный кислород атмосферы является созданием живой материи, ибо на множестве тысяч процессов поглощения кислорода мы знаем на земной поверхности только один процесс его выделения – зеленое – хлорофиллсодержащее живое вещество. Поэтому можно совершенно справедливо считать нахождение свободного кислорода в земной атмосфере в его основной части биохимическим явлением¹ и все процессы, в которых он участвует, тоже.

Несомненно, биохимическое значение живой материи для почвенных процессов еще больше и значительнее. Мы ниже остановимся еще на значении для них органического парагенезиса химических элементов, но и приведенных крупных групп биохимических явлений достаточно, чтобы убедиться в том, что по существу в почве нет химических процессов вне участия в них живой материи и продуктов ее изменения².

13. Менее обратило на себя внимание значение живого вещества для смешения химических элементов, находящихся в почвах (§ 5), и на разное изменение этим путем всего уклада происходящих в почвах химических явлений.

Геохимическое значение живой материи в смешении химических элементов, их объединении в одном небольшом объеме вообще огромно. В этом отношении мы, кажется мне, не знаем на Земле ни одного агента, равного ей по силе и интенсивности проявления.

Живое вещество всегда, когда мы его изучали, содержит не менее 15–20 химических элементов, а вероятно, их всегда гораздо больше, и очень возможно, что почти все или все химические элементы входят в состав живого вещества и что нет в природе однородных форм живой материи, где бы было меньше 20–25 химических элементов.

Мы вступаем здесь, к удивлению, в темную область, где вместо точных непреложных фактов царят предположение и предвзятые мнения, не основанные на точных данных. Химических анализов довольно много, но мы до сих пор не знаем ни одного полного химического анализа какого-нибудь организма, сравнимого с анализами минералов и горных пород. Точного количественного элементарного состава мы не знаем ни для одного животного или растительного организма. Обычно без всяких достаточных данных переносят полученные для одного организма результаты анализа на другой организм, предполагая, что тождественность химического состава лежит в основе живого вещества, в частности, что протоплазмы состоят из [из одних] тех же элементов для всех организмов. Есть целые классы организмов, их семейства – не говоря уже о родах и видах – для которых нет не только данных количественного, но даже и качественного химического анализа.

Несмотря на все это, мы можем все-таки утверждать огромное значение в природе организмов – живой материи – для смешения химических элементов.

¹ Ср. литературу и данные: В. Вернадский. Опыт описания минералов. I. СПб., 1908–1914.

² Еще более это правильно по отношению к *грязям*, биохимический характер процессов в которых сейчас не возбуждает никаких сомнений.

Живое вещество далеко не безразлично относится к окружающим его химическим телам, оно выбирает из окружающей среды некоторые химические элементы и вводит их в состав своего тела. Его жизнь в значительной мере состоит в извлечении из окружающей среды определенных химических элементов, проведении их через соединения или жидкости организма и их выделении вновь в окружающую среду нередко в виде новых соединений.

Благодаря этому всегда в организме совместно находятся некоторые химические элементы, и такое совместное нахождение химических элементов в земной коре мы будем называть *органогенным их парагенезисом*, т.к. оно вызвано не химическими свойствами элементов, а свойствами организма.

Есть химические элементы, которые всегда в большем или меньшем количестве наблюдаются во всех организмах, необходимых для живого вещества. Это основные элементы органогенного парагенезиса: С, О, Н, N, S, P, Cl, K, Mo, Ca, Na, Fe – и к ним почти всегда присоединяются Si, Mn, F, J, часто Cu, В, Ba, Sr, Pb, Zn, Ag, Br, V и т.д. Органогенный парагенезис различен для живого вещества растительного и животного, для разных их классов и для разных видов организмов, причем изменение касается, с одной стороны, количественных соотношений между элементами органогенного ряда, с другой стороны, благодаря прибавлению к основным органическим элементам большего или меньшего количества новых.

Очевидно, встречаясь всегда вместе – в общем никогда в количестве меньшем 15–16 и должно быть больше 20–25 – эти элементы оказываются вместе при разрушении организма и дают этим путем ряд природных соединений или их смесей, которые в одном объеме земной коры заключают все эти элементы. Причиной такого их смешения, нахождения вместе, является *живое вещество*. Без него они распределились бы – и распределяются – в природе иначе. С геохимической точки зрения, при этом довольно безразлично, почему они находятся вместе – под влиянием ли избирательной способности организма (например, J или основные элементы органогенного парагенезиса) или под влиянием того, что они находятся в окружающей среде и помимо активного участия организма в него попадают (как, например, часто Ba, Sr, Ca, Si, Fe и т.д.). Раз это последнее явление постоянно повторяется, оно представляет факт геохимического значения, с которым мы неизменно должны считаться во время всех наших заключений.

14. Степень этого смешения чрезвычайна, если мы вдумаемся в те ничтожные пылинки, которые, как мы видели, образуются в результате гибели неделимого живого вещества (§ 10).

По-видимому, в состав бактерий входят те же элементы; в одной ее споре, размерами в немногие десятые доли микрона, должны содержаться 16–20 химических элементов. Мы видим в этом примере, какое чрезвычайное смешение достигается силами жизни. А так как почва вся проникнута живым веществом, в каждой мелкой части которого находится то же смешение – органогенный парагенезис химических элементов, – то ясным станет нам огромная роль живого вещества в природе, в смешении химических элементов.

Эта роль станет перед нами более яркой, если мы обратим внимание на общие свойства земной поверхности с этой точки зрения и на те факторы, которые вызывают совместное нахождение химических элементов в земной коре, на их парагенезис.

Разных типов парагенезиса химических элементов в земной коре мы имеем четыре: органогенный, парагенезис изоморфных¹ рядов, парагенезис, связанный с глубинными процессами в земной коре², и парагенезис генетический (например, парагенезис элементов, получающихся в связи с радиоактивным распадом элементов). В почвах из всех этих типов парагенезиса могут иметь значение только органогенный парагенезис и парагенезис изоморфных рядов – изоморфный парагенезис.

Но влияние изоморфного парагенезиса для минералов, образующихся в поверхностном слое земной коры, т.е. вадозных минералов, значительно слабее, чем его влияние в продуктах более глубоких слоев. Состав вадозных минералов значительно более простой, чем состав минералов глубинных, и только в некоторых особых случаях получают – и то относительно редко – более богатые элементами вадозные соединения, например, некоторые минералы, выделяющиеся из последних маточных растворов соленых озерных бассейнов.

Как общее правило, на земной поверхности, в том числе и в почвах, можно было бы ожидать более чистых – бедных элементами в данном объеме соединений, – чем исходные тела, изменением которых они происходят. Минералы выветривания являются более бедными по входящим в них элементам, чем исходные для них ювенильные и фреатические минералы. При процессах выветривания происходит выделение относительно чистых соединений, т.е. ослабление изоморфного парагенезиса.

Благодаря, однако, органогенному парагенезису в почвах мы имеем процесс обратного характера, а в связи с этим все соединения, получающиеся в связи с живым веществом в почве, являются более химически активными, т.е. они чрезвычайно неустойчивы, вследствие совместного нахождения химических элементов чрезвычайно различного характера.

Очевидно, насколько велико влияние живого вещества благодаря этому его свойству на ход всех химических процессов в почве³.

15. Столь же мало, как данное свойство живого вещества, обращало на себя внимание *его значение для такого же смешения химических элементов на всей земной поверхности, его значение как источника химических элементов почвы, независимых от подпочвы* (§ 5).

Почва получает входящие в ее состав химические элементы, т.е. составляющие ее вещество, из трех источников: 1 – из подпочвы, т.е. более низких частей земной коры, 2 – из атмосферы, 3 – из живого вещества.

Обычно этот последний источник не принимается во внимание. Долгое время в вопросах генезиса почвы обращали исключительное внимание на материальную ее связь с подпочвой, почву смешивали с поверхностным слоем горной породы, не сознавая резкого различия в происходящих в почве и в горной породе процессах.

Даже тогда, когда это различие, обусловленное, как мы видим, живым веществом, выявилось с несомненностью, подпочве придают исключитель-

¹ Об этих типах парагенезиса см. В. Вернадский. Дневник [В.И. Вернадский. Парагенезис химических элементов в земной коре (1909) // Дневник XII съезда русских естествоиспытателей и врачей. М., 1910, отд. 1].

² Об этих типах парагенезиса см. В. Вернадский. Дневник.

³ Совершенно такое же значение, очевидно, имеет живое вещество и в химии грязей.

ное значение в создании материала почвы, хотя целый ряд резко выраженных фактов наблюдения этому не соответствует.

Роль атмосферы и связанных с нею осадков и пыли в образовании почвы выясняется в последнее время все с большей яркостью. Уже Бюффон придавал огромное значение пыли в образовании почвы. Мы видим в этом переносе пыли принос в почву вещества из очень далеких мест, материально меняющего ее состав по сравнению с составом подпочвы.

В первой половине XIX века выяснилась роль осадков как источников азота почвы, впервые, кажется, под влиянием работ Буссенго; вскоре затем выяснилась также роль для приноса серы. В известной степени по отношению к этим элементам почва оказалась независимой от подпочвы. Осадки приносят в почву и другие химические элементы, обычно не учитываемые, но играющие большую роль в режиме почвы, раз мы учтем бесконечный бег времени, находящейся в нашем распоряжении в природе.

16. Несомненно, приносимые осадками или ветрами материальные частицы будут теряться почвой, если они не будут ею удерживаться. В этом удержании играет огромную роль наземная растительность, живое вещество – и это его значение вошло в общее сознание и подтверждено многочисленными наблюдениями.

Но самое живое вещество, не только растительное, но и животные его формы, могут совершать ту же самую работу как и атмосфера, частью приносить в почву новые составные части, частью удалять их из почвы.

Происходит на поверхности Земли при его посредстве своеобразный круговорот вещества, в конце концов совершающий на земной поверхности огромную работу смешения химических элементов, делающий химически независимым от подпочв поверхностный слой нашей планеты – почву¹.

Мы имеем здесь многообразные явления, совокупность которых составляет этот процесс. Так, во время процессов дыхания и газового питания и растения и животные поглощают активно из атмосферы газы – кислород, углекислоту, воду, азот. Одновременно с поглощением этих основных газов они поглощают и находящиеся в воздухе другие газы (окислы азота, серы и т.д., пыль и т.п.).

Все это вещество так или иначе используется живой материей для создания организмов и обычно в новых формах вносится в почву. Но берется оно организмом (особенно животным) нередко очень далеко от того места, где организм находится.

Наряду с этим путем дыхания и газообразных выделений организмы возвращают в атмосферу часть взятых из нее элементов, может быть извлеченных ими из почвы. Это касается, главным образом, газообразных тел и немногих химических элементов – O, S, C, H, N.

Этот процесс несомненно, играет огромную роль в общем обмене и должен отражаться на составе поверхностного слоя нашей планеты, хотя бы благодаря накоплению в ней этим путем по сравнению с подпочвой элементов основного ряда органогенного парагенезиса (§ 14).

¹ Несомненно, тот же процесс в меньшем размере идет и на дне водных бассейнов – в *грязях*. Грязи еще более ясно не связаны целиком с их подпочвой.

Помимо того огромного влияния, которое оказывает человек, вмешиваясь с своими предназначениями в природный процесс и удаляя из почвы в виде продуктов ее составные части – в природе есть целый ряд других факторов, действующих в том же самом направлении.

Так, несомненно, и осадки (т.е. испарение), и ветер не только вносят в почву части, но и уносят их из нее. В этом уносе ветром или испарением участвует и живое вещество. Ветер постоянно уносит и переносит огромное количество живых организмов и их живых частей и продуктов их изменения. У ряда организмов есть специальные приспособления к переносу ветром (например, семена). В то же самое время мелкие летающие животные, поднимаясь над почвой, нередко выносятся ветром. Ветер может поднимать и брать большое количество живого вещества даже с таких защищенных от его действия почв, какими являются почвы, покрытые растительностью, которая защищает от уноса ветром минеральные части почвы и отмершие остатки живого вещества, но не оказывает, конечно, влияния на летающих насекомых или несущихся по воздуху паукообразных. Этим путем в природе постоянно значительная часть химических элементов почв перемещается с одного места на другое, и идет процесс смешивания химических элементов на земной поверхности¹.

17. Но помимо такого косвенного участия живого вещества в смешении химических элементов огромный обмен их происходит благодаря активному участию в нем бегающих и летающих организмов, переносящих вещество с места на место благодаря биологическим условиям своего существования и в общей работе чрезвычайно способствующих смешению химических элементов. Трудно недооценить значение этого фактора, раз только мы всмотримся в неуклонно идущий процесс передвижения живого вещества в биосфере, столь же, если не более, непрерывный, чем движение моря, и производящий не меньший геохимический эффект.

Имея в виду сложность химического состава организмов, получение ими своего вещества нередко из глубоких слоев подпочвы и выделение их всегда на поверхности почвы, мы можем легко оценить его геохимическое значение в связи со смешением химических элементов на земной поверхности.

В бесконечном по разнообразию форм живом веществе мы имеем все переходы от происходящего этим путем перемешивания химического состава вещества на расстояниях, радиус которых исчисляется небольшими долями метра (соответственно дециметра, сантиметра и т.д.), до расстояний, исчисляемых многими сотнями километров.

Движения некоторых насекомых или моллюсков происходят в течение их жизни на расстояние немногих метров – в этом пространстве проходит вся их жизнь – наряду с этим другие перемешивают вещество, передвигаясь на расстояние километров (например, пчелы) и даже десятки километров. Еще большие передвижения мы имеем для птиц, для которых район их жизни – считая перелетных птиц, исчисляется многими сотнями километров.

¹ В природе существует много процессов аналогичного характера, например, лесные и степные пожары, вызванные молнией, перенос ветром осенью сухой растительности или перенос живого вещества во время бурь, например, торнадо, зимних вьюг и т.п. В общем, благодаря постоянной повторяемости этих явлений результат их должен учитываться в общей геохимической истории почв.

В районе своих передвижений животные способствуют смешению элементов, беря из него пищу, оставляя в этом районе свои выделения и отбросы, в конце концов оставляя свой труп.

Во время массовых передвижений, например, птиц, насекомых, млекопитающих мы имеем огромные переносы химических элементов с одного места на другое, из одной почвы в другую. Во время жизни животных организмов перенос и смешение ими вещества совершается в еще больших размерах, потому что они переносят много вещества случайно; известна, например, роль птиц в расселении других организмов.

Благодаря таким движениям каждая почва получает и теряет большое количество главным образом элементов, находящихся в органогенном парагенезисе, вне всякой прямой зависимости от подпочвы и атмосферы.

18. Эта независимость от подпочвы и атмосферы является наиболее характерной чертой этого процесса. Организмы в значительной мере выравнивают состав поверхностных слоев земной коры, дают в ней накопление и равномерное нахождение элементов органогенного парагенезиса¹. Этот парагенезис господствует в биосфере.

Но живая материя влияет при этом и на атмосферу, меняя определенным образом ее состав, и на подпочву. Любопытно, что косвенно она влияет на перенос нужного почве вещества из атмосферы, смешение химических элементов на земной поверхности этим путем. Так, азотистые и сернистые соединения, выпадающие из осадков в почву и влияющие, как мы знаем, на урожай, учитываемые во время сельскохозяйственных опытов, в значительной мере образуются биохимическим путем и являются, следовательно, в этой своей части проявлением влияния живого вещества на смешение химических элементов на земной поверхности.

На подпочву живое вещество влияет, с одной стороны, так же как оно влияет на почву, раз оно в подпочву проникает. Однако гораздо более значительно его влияние на подпочву косвенное – благодаря изменению подпочвы почвой, ее химическими процессами, в которых живое вещество играет первостепенную роль.

Влияние жизни не ограничивается одним поверхностным слоем. Благодаря геологическим процессам происходят смещения земных слоев, и почва нередко целиком во всей своей массе на значительных протяжениях переносится в другие земные оболочки, прекращая свое существование как почва, но внося в эти оболочки ту химическую энергию, которая дана ей деятельностью живого вещества. В общем этот процесс играет в истории земли гораздо большую роль, чем мы ему обычно приписываем².

Но помимо этого влияния, проявляющегося в геологически длительное время, и обычно почва, благодаря входящей в нее воде и проходящим через нее газам, оказывает влияние на нижележащие слои земной коры. В этом ее влиянии огромную роль играют «органические вещества», растворяющиеся в проходящих через почву водах, связанные в своем происхождении с живым

¹ Совершенно тот же процесс в меньшем масштабе совершается в грядях.

² Несомненно, этот процесс в грядях идет в большем масштабе, но по существу – аналогичен. Диагенез жизни в осадочных породах более изучен, чем диагенез почв в породе суши, в связи с его большим геологическим значением.

веществом почвы, и те газы, которые являются в результате разложения живого вещества, идентичные с газами почвы и главными газами земной коры – O, N, CO₂, CH₄, H₂O, H₂, H₂S и т.д. Через них почва и ее живое вещество оказывает огромное влияние на все главные геохимические процессы земной коры.

Мы подходим этим путем в другой обстановке и в другом понимании к старинному представлению об огромной роли богатой живым веществом почве в геохимии земной коры – к представлению, аналогичному тому, которое рисовалось во второй половине XVIII в. Бюффеном, считавшим органо-генную почву могучим фактором в создании горных пород и руд. Эта область влияния почвы и живого ее вещества едва начинает в своем значении нами учитываться.

Староселье, июль, 1919 г.

ЦНБ АН УССР. Отдел рукописей,
ф. 1, № 26854, л. 1–20. Автограф.

О ГЕОХИМИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ПОЧВ*

Развитие в XX веке новой науки, обнимающей историю химических элементов в земной коре, геохимии, в связи с тем значением, какое имеет для всего нашего мировоззрения сейчас химический элемент, не может быть безразличным для почвоведения. В своих заданиях, изучая историю химических элементов, т.е. историю на Земле различных форм атомов, геохимия постоянно сталкивается с почвой как той областью, в которой идут разнообразные процессы, определяющие эту историю. Для решения этих вопросов геохимия должна пользоваться данными почвоведения, но, к сожалению, данные химического анализа почв для этого недостаточны.

Они недостаточны в двух направлениях: 1) в выявлении тех форм нахождения химических элементов, которые изучаются в геохимии, и 2) в количестве химических элементов, которые этим анализом захватываются.

В геохимии мы можем различить четыре разных цикла истории химических элементов, которые мы будем называть формами их нахождения: 1) минералы и горные породы; 2) магмы; 3) живые вещества; 4) рассеяния, например те, которые так ярко проявляются для радиоактивных элементов.

В почве мы имеем все эти формы нахождения, кроме магматической; мы можем знать историю элементов почвы, только проследив ее для каждого элемента отдельно по отношению к каждой из этих форм. Для этого мы должны отделить эти формы нахождения друг от друга.

При современных методах анализа мы не можем этого сделать для живого вещества; живые организмы – живое вещество – несомненно охватывают значительную по весу часть почвы, но мы не можем в почве отделить живое

* Впервые опубликовано в: Бюл. 3-го Всерос. съезда почвоведов в Москве. 1921. № 3–4. С. 1–4. В дальнейшем опубликовано в: Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. С. 311–315.

от мертвого. Мы смогли бы это сделать, если бы мы могли иметь точное определение органогенных элементов – G, N, P, S и т.д. Для углерода это делается в форме определения гумуса. Определяемый «гумус» в действительности, вероятно, целиком входит в форму живого вещества, так как и остатки организмов, для него исходные, в природе переполнены жизнью – микроорганизмами. Но определение гумуса делается в условиях, при которых значительная часть этого вещества произвольно отбрасывается: 1) обычно до анализу выбираются из почвы корешки, остатки насекомых и т.п., в ней находящиеся, видные на глаз или в лупу, и 2) не принимается во внимание тонкий, самый верхний переполненный жизнью слой почвы (наиболее химически активный, состоящий нередко сплошь из гниющих остатков организмов (переполненных микроскопической жизнью), – хвоя, лесная листва, засохший дерн лугов, богатые мхом их части и т.д. Особенно это касается почв, мало измененных культурой. Вследствие этого мы для углерода живого вещества почвы имеем числа значительно ниже действительных и не знаем степени этой ошибки. То же самое наблюдается и по отношению к другим органогенным элементам, главным образом для N, P, S и т.д.

Для геохимического анализа – для определения по этим органогенным элементам живого вещества почвы – надо брать ее для анализа всю целиком, без очистки почвы для анализа, причем необходимо брать образцы так, как берут среднюю пробу горной породы: из большого, смешанного по весу объема почвы. Сейчас в нашем анализе и во всех связанных с ним графических представлениях мы имеем дело не с природной почвой, а с почвой искусственной, причем, выбирая часть остатков организмов, мы оставляем другую, неизвестно какую по весу, в этой искусственной почве.

Но, помимо этого, обычный химический анализ почвы дает, с геохимической точки зрения, неправильные сведения об ее элементарном составе и потому еще, что из состава естественной почвы выброшены всегда находящиеся в ней элементы воды. Почва «воздушно сухая», разрыхленная и раздавленная, а еще более почва, таким образом изготовленная, высушенная в эксикаторе, не существует в природе. Надо вносить поправку на существующие в природе элементы воды.

Но не буду здесь дольше останавливаться на вопросах этого рода; гораздо большее сейчас значение имеют вопросы, связанные с количеством химических элементов почв, входящих в кругозор почвоведов по сравнению с теми, которые входят в кругозор геохимика. Для геохимии почва и ее аналог – морская, озерная, речная и тому подобная грязь – являются одной из самых могущественных областей перемещений атомов, с которыми он сталкивается при изучении истории всякого элемента.

Почвовед обычно определяет и изучает 13 химических элементов: O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, H, P, S, C, N; иногда определяются еще Mn и Ti, т.е. всего 15 элементов. Сейчас с учетом всех изотопов нам известно около 160 химических элементов, распределенных на 87 местах периодической системы. Из всего числа 92 ее определенных мест 5 мест пока не заполнены известными нам элементами. Оставляя в стороне изотопы, значение которых в будущей химии почвы, вероятно, будет очень значительно, будем принимать во внимание только обычные элементы, определяемые атомными числами. Их сейчас известно 87. Из них определяются почвоведом 15, однако все

указывает, что существуют в почве все 87. Растение берет из почвы гораздо больше элементов, чем 13–15; животные через посредство растений извлекают свои элементы из почвы же. Для растений сейчас, после работ Мазе и других, ясно, что количество таких элементов (полученных через почву), которые встречаются во всех растениях, достигает 24. Кроме 13 элементов почвоведов, это будут Mn, B, Li, F, J, As, Cu, Zn, Cl, но это число далеко не полное и, несомненно, должно быть пополнено. Сейчас в Киеве при содействии Украинской академии наук мною ведется геохимическое исследование растений, причем образцы определенным образом взяты и взвешены, так что числа анализа могут непосредственно быть использованы для геохимических заданий. Не буду на этом останавливаться, но отмечу, что работа М.И. Бессмертной показывает постоянное присутствие в трех видах мха и в 16 видах цветковых растений, кроме 13 элементов почвоведов, еще B, Sr, Zn, Mn, Cu, Ni, Cl. К прежде известным прибавляются еще два – Ni и Sr. По-видимому, количество элементов растений, общих для всех, увеличится и сверх 26 элементов, ныне известных. Однако нельзя утверждать, что все элементы присутствуют во всех растениях. Наши работы по отношению Ti и Co заставляют относиться к этой экстраполяции с осторожностью.

Уже из этого ясно, что в почве должны находиться не 15, а, по крайней мере, 26 элементов. Но их там гораздо больше. Привожу здесь сводку наших об этом сведений, причем мы можем оставить в стороне те элементы, которые, как благородные газы – Ar, He, Rn, Xe, Kr, Ne – не дают химических соединений. Как известно, однако, они все присутствуют в газовом составе почв. Элементы Rh, Ru, Os, Pd, Pt, Zr, Nb, Ta, Ga, Ge, W, In, Tl, Be, Hg, Mo мало изучены и их присутствие в почве не доказано, но a priori неизбежно. Оставляя 13–15 элементов почвоведов, мы имеем для других следующие данные.

Серебро – Ag. По-видимому, оно очень распространено в организмах. Для почв (глин) его нахождение было доказано еще в середине XIX века выдающимся датским ученым Форхгаммером. С тех пор определений не делалось.

Мышьяк – As. Его постоянное нахождение в растительных и обычное – в животных организмах ясно указывает на его неизменное присутствие в почвах. На то же самое указывает и обычность его в водах, в источниках. Прямые находения его были констатированы Мульдером для европейских почв, и эти наблюдения были подтверждены для Америки. По-видимому, мышьяк сосредоточивается в нерастворимых формах в связи с кальцием.

Золото – Au. Как известно, золото в ничтожных рассеяниях находится всюду. Вес таких рассеяний золота очень велик; например, для океана количество его исчисляют в $7 \cdot 10^9$ метр. т. В почвах оно было найдено в конце XVIII века д' Арсэ и затем подтверждено работами начала XIX века. Его нахождение в живом веществе также констатировано только старыми работами.

Бор – B. Этот элемент широко распространен во всех горных породах, во многих алюмосиликатах, переходит во все растения и, по-видимому, животные. На необходимость его для растений указывает уже нахождение его в семенах. Констатирован во многих почвах, по-видимому, всегда, когда его искали. Очень желательны количественные определения.

Барий – Ва. Обычен в растениях (может быть, во всех), которые берут его из почвы. Здесь он был впервые констатирован И. Форхгаммером для европейских глин и позже найден в американских почвах. По-видимому, в почвах связан с марганцем.

Висмут – Вi. Его обычное нахождение в известняках (по Ленарду и Клатту) заставляет ожидать его нахождения в почвах.

Бром – Вг. Прямо в почве, кажется, не определялся, однако он всегда находится во всех растениях и животных, по-видимому, во всякой природной воде, экскрементах и моче животных. Его нахождение в почве несомненно и, вероятно, в количественно определяемых количествах.

Церий и группа элементов редких земель – Се, La, Dy, Gd, Sm, Tu, Tb, Lu, Yb, Nd, Pr, Eu. Кроме указаний И. Форхгаммера на их нахождение в глинах, другие мне неизвестны; но вся известная нам история этих элементов заставляет ожидать их в почвах.

Кобальт – Со. Нередок в растениях. В глинах указан Форхгаммером.

Хром – Сг. Обычен в растениях. В почвах не искали. Лекок де-Буабодран указывает, что находил его во всякой окиси алюминия, которую он исследовал.

Цезий – Cs. В почвах не указан, но обычен в растениях.

Фтор – F. Широко распространен во всех организмах, во всех, по-видимому, осадочных породах, во всех поверхностных водах. В почвах Шотландии давно указан Уэльсоном. Вероятно, окажется в почвах в количественно измеримых количествах.

Йод – J. Находится во всех растениях и, должно быть, животных, в воздухе, природной воде, во всех осадочных породах. В почвах давно указан Шатеном, и эти указания были подтверждены позднейшими работами.

Литий – Li. Один из характерных элементов рассеяния. Находится во всякой почве, в которой его спектроскопически искали.

Никель – Ni. Широко распространен в растениях и горных породах. Форхгаммером найден в глинах. Присутствие в почвах несомненно, но прямо не указано.

Свинец – Pb. Прямые определения для почв мне не известны. Но Форхгаммер указал на его широкое распространение в глинах и осадочных породах. Работа его была подтверждена позднейшими исследованиями. Широко распространен в растениях, где, может быть, окажется постоянным элементом. Клатт и Ленард доказали его присутствие во всякой природной CaCO_3 . Особенно ввиду многих его изотопов его определение в почвах чрезвычайно желательно.

Селен – Se. Нахождение его в организмах, морской грязи и осадочных породах заставляет ожидать его обычности в почвах.

Олово – Sn. Обычное нахождение его в растениях и источниках заставляет искать его в почвах.

Стронций – Sr. Широкое нахождение его в водах и, по-видимому, постоянное в растениях заставляет думать, что он находится в почвах в количественно определяемых скоплениях.

Торий – Th. Всегда находится в почвах в форме рассеяний.

Титан – Ti. Указан, как постоянная составная часть почв, еще Зольте-Горстмаром в 1851 г.

Уран – U. Всюду находится в почвах и форме рассеяний.

Ванадий – V. Нахождение его в животных организмах, растениях и обычное – в глинах и осадочных железных и алюминиевых рудах заставляет ожидать его нахождения в почвах.

Цинк – Zn. Нахождение во всех растениях, животных и во всех породах делает его нахождение в почвах несомненным. Он не раз и указывался и, очевидно, должен встречаться в количественно определенном количестве.

Хочу еще остановиться на нахождении в почвах меди. Для нее мы имеем сейчас и количественные определения. Медь гораздо более распространена в земной коре, чем это раньше считали. Медь составляет 0,01% ее веса.

В почвах медь встречена давно. Сейчас доказано ее присутствие как необходимой основной части во всех растениях и во всех животных. Новые работы Макенна и Демусси показали, что в почвах Франции она находится всегда в количестве от 2 до 20 мг на 1 кг сухой почвы. Отсюда медь извлекается растениями, причем в них концентрируется (почва, содержащая 2 мг меди на 1 кг, давала, по Макенну и Демусси, растения, содержавшие 7 мг меди в сухом растении). Но медь в живом веществе концентрируется не в растениях, а в животных – насекомых, паукообразных, многоножках, моллюсках, позвоночных и т.д.

Почва и переход меди в живое вещество играют огромную роль в ее истории. В почве меньше в среднем меди, чем в тех породах, из которых медь происходит; она извлечена из них живым веществом. При разрушении горных пород медь всегда распределяется между почвой и живым веществом. Возвращаясь в почву после гибели организма в некоторых определенных условиях, связанных со своеобразными морскими и озерными грязями мелководных бассейнов, медь организмов может давать органогенные медные руды, мощные палеозойские и мезозойские отложения, которые известны нам в Европе, Азии, Северной и Южной Америке. Здесь медь первоначально выделяется в форме особой разновидности сернистой меди – β -халькозина. В образовании этих медных отложений огромную роль играет не только грязь дна бассейна, но и почва, так как водные организмы извлекают медь в значительной мере из наземных организмов, получающих ее из почвы.

Эти отрывочные данные, характеризующие наши современные понятия, ясно указывают на крайнюю необходимость их пополнения, интенсивной работы в этой области знания. Едва ли можно сомневаться, что она будет иметь значение не только научное, но и практическое, так как своеобразные атомы, даже в небольшом количестве, являются одним из факторов плодородия почвы.

ОБ АНАЛИЗЕ ПОЧВ С ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ*

1. Существует большое количество химических анализов почв, но редко они сравнимы между собой. Ими почти невозможно пользоваться с целью составить себе точное представление о составе почвенного покрова земной

* Доклад на IV конференции почвоведов в Риме в мае 1924 г. Впервые опубликовано в: Actes de La IV Conference Internationale Pedologie. Rome, 12–19 Mai, 1926, Vol. 11, p. 570. В дальнейшем опубликовано в: Почвоведение. 1936. № 1. С. 8–16; Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. С. 316–324.

коры. В общем, эти анализы либо преследуют практические цели, либо пытаются разрешить общие агрономические проблемы. Они очень неполны и дают лишь несовершенное представление о химическом составе почв.

Существует много данных, относящихся к некоторым отдельным химическим элементам. Так, например, в работах русских и советских почвоведов по картографии собрано большое количество определений углерода (гумус). При аналогичных исследованиях иногда возникал интерес и к другим элементам, например к фосфору в прибалтийских почвах (работы проф. Томса) или к марганцу в гавайских почвах. Мы имеем большое количество определений таких распространенных элементов, как Si, Al, Ca, Mg, Na, K, Fe (к сожалению, без различения валентности), так же как и N, Ti, Mn.

В XX столетии внимание ученых все более и более привлекает к себе присутствие в почве в незначительных количествах редких химических элементов. Не только было найдено большое число этих элементов, но и выяснилось, что почва должна содержать все вообще элементы. Значение этих «бесконечно малых» (по выражению проф. Бертрана) для биологических процессов делает необходимым определение их в почве, которая является единственным источником редких элементов для сухопутных организмов. Однако такие определения не носят еще систематического характера.

Тем не менее следует отметить имеющиеся уже две систематические попытки, сделанные в этом направлении: во-первых, «Почвенное бюро» (Bureau of soils) в Вашингтоне предприняло большую общего характера работу относительно химических элементов, встречающихся в почвах США; во-вторых, во Франции, в Институте Пастера в Париже, проф. Бертран и его ученики изучают с этой точки зрения распределение в почвах и подпочвах таких элементов, как марганец, цинк, медь, никель, кобальт.

Существует некоторое количество специальных определений таких элементов, как J, As, Cu, В и других, указывающих на их большое распространение в почвах. Но эти определения охватывают лишь ограниченные территории, и почвы, для которых они были произведены, не являются представителями определенных естественных типов.

2. Недостаточность существующих химических данных о почве дает себя особенно чувствовать потому, что в связи с эволюцией новой науки – геохимии – выдвигаются новые проблемы.

Среди этих проблем *оценка общего состава почвенного покрова земного шара*, одевающего почти без перерыва всю поверхность континентов и островов, вызывает необходимость организации систематических химических анализов почв. Эта организация может быть только международным коллективным делом.

Геохимия изучает историю химических элементов земной коры и, насколько это возможно, всего земного шара. Одним из новейших наиболее важных завоеваний этой науки является открытие того, что земная кора по своему химическому составу не является простым результатом действия различных геологических сил. Этот состав представляет функцию структуры химических атомов.

Проф. Г. Оддо первый указал на то, что в земной коре преобладают (86,5% по весу) элементы с четным порядковым номером атомов, а В. Харкинс констатировал тот же факт в еще более чистом виде в отношении состава метеоро-

ритов (97,59% по весу). В строении земной коры можно найти и другие еще отношения между ее химическим составом и структурой атомов.

Точное определение химического состава различных частей земной коры представляет, таким образом, большой научный интерес.

До известных пределов точности мы знаем средний состав земной коры на глубину до 16 км. Он приблизительно соответствует составу литосферы, твердой части коры, так как атмосфера и даже гидросфера не изменяют его сколько-нибудь значительно. Вместе они составляют лишь 7% вещества земной коры.

Средний состав коры, так же как и средний состав литосферы, соответствует в круглых цифрах составу изверженных пород; они близки к составу гранодиоритов.

3. Но очевидно, что ни средний состав коры, ни таковой же литосферы не могут дать нам ясного представления о составе верхних слоев нашей планеты – почвенной среды. Атмосфера и гидросфера, столь отличные химически от литосферы, имеют большое значение для почвенной среды и охватывают большую часть вещества этих слоев.

В верхних слоях Земли можно различить химически отдельные образования, которые могут рассматриваться как естественные тела, действительно специфические для этих областей коры, так же как и их специфические совокупности. Это атмосфера, гидросфера (Мировой океан), совокупность осадочных пород, совокупность почв и морского ила, живое вещество (т.е. совокупность живых организмов) и совокупность речных вод.

Нам известен в общих чертах средний состав атмосферы и гидросферы. Для последней существующие данные требуют еще поправок.

Были сделаны попытки дать картину среднего состава осадочных пород на основании имеющихся анализов и смесей из этих пород, составленных в соответствии с их значимостью в порядке их осаждения. Самая полная оценка была сделана Ф. Кларком. Эти данные, однако, основаны далеко не на достаточном количестве химических анализов и отличаются гораздо меньшей точностью, чем такие же данные относительно состава изверженных пород.

Состав живого вещества известен лишь в самых общих чертах: мы можем составить себе представление о разнообразии составляющих его химических элементов, но не о взаимоотношении между их количествами. Средний состав почв и морского ила еще неизвестен, а между тем и те и другие данные очень интересны с геохимической точки зрения и при современном состоянии науки могут быть получены без больших затруднений.

Благодаря работам Д. Меррея и Ф. Кларка известен с некоторой степенью точности средний состав речной воды в отношении наиболее распространенных в ней металлов. Зная годовое количество воды в реках, можно вычислить общую массу растворенного вещества, которое они приносят в океан, и таким путем определить работу по произведенному реками дренажу на континентах и островах.

4. Отсюда ясно, что определение среднего состава почв и морского ила есть первоочередная геохимическая проблема. Без этого знания невозможно установить химический состав биосферы и осадочных пород, равно как и разрешить большие геохимические и геологические проблемы, касающиеся верхних слоев нашей планеты.

Вообще в науке вовсе не учитывается то значение, какое имеют химические анализы почв в интересах развития наших представлений о химических

явлениях на Земле; забывают, что точно выраженный средний состав почв является одной из химических констант нашей планеты.

Состав почв не случаен. Он находится в очевидной, очень тесной связи с составом других частей биосферы. Почвы соответствуют наиболее верхним земным слоям, у которых существует непосредственный контакт с атмосферой и осадочными метаморфическими или вулканическими породами, находящимися на поверхности. Почвы являются не простым продуктом поверхностного выветривания пород, как продолжают еще думать иногда, следуя научной рутине, но «естественными телами», отличными от пород, аналогичными по своему геохимическому действию с минералами, естественными пресными водами, с организмами.

5. Этот взгляд был окончательно установлен в науке русским ученым В.В. Докучаевым, и полученные с тех пор научные данные придали ему новую силу и значение.

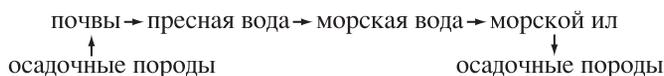
Телами природы можно называть предметы, которые индивидуализированы в природе, имеют свое собственное существование и могут быть выделены из своей среды, имеют внутреннюю структуру и специальные законы, отличные от законов других природных тел. Почвенный покров состоит из различных типов почв, рассматриваемых как тела природы.

Почвы завладевают нерастворимыми составными частями атмосферных осадков и потоков, оставляющих на них свой отпечаток. Эти воды с растворимыми частями и частички в суспензии после их прохождения через почву или находясь в соприкосновении с почвами, вливаются в реки, подвергаясь там многочисленным биохимическим изменениям (частично и химическим), поступают в океан, образуя большую часть его солевой массы. Таким образом, существует тесная связь между химическим составом морской воды и химическим составом почв. Совокупность: почвы → воды рек → воды океана – представляет химически определенное целое.

Нет ничего случайного и в составе отдельных членов этого целого, если брать средние, где исключено влияние местных воздействий.

Вследствие недостатка химических анализов мы не можем дать количественное выражение законам, управляющим этим целым, но существование взаимного влияния химических реакций во всех частях биосферы не вызывает сомнений.

6. Почвы связаны химически не только с морскими водами. Не менее тесные отношения существуют между ними и составом морского ила. Ил этот является природным телом, у которого существует очень глубокая аналогия с почвой. Это подводные почвы, где гидросфера занимает место атмосферы. Химический состав их может рассматриваться как происшедший из почв через посредство морской воды. Более того, совершенно очевидно, что все эти отдельные части биосферы в конечном счете представляют большого значения единый замкнутый геохимический цикл:



Морской ил путем диагенезиса дает осадочные породы, верхние части которых в биосфере снова образуют почвенную среду.

7. Отношение между составом живого вещества, живыми организмами и составом почв, по-видимому, еще более тесно. В общем именно живое вещество завладевает солнечной энергией и таким образом регулирует все химические процессы биосферы, в особенности имеющие место в почвах, пресной воде, водах океана, морском иле.

Все эти части земной коры наполнены живыми организмами (живым веществом), несомненно, составляющими несколько процентов ее веса.

Вероятно, большая часть химических элементов почвы находится в ней в виде живых организмов. Таким образом, возможно, что почти весь углерод связан здесь с живым веществом. Известно, что углерод почвы – в карбонатах и органическом веществе ее – получает в конце концов форму перегноя и что до известного момента он составлял часть организмов, преимущественно почвенных. Даже преобладающая часть органического вещества почвы должна рассматриваться как живое вещество, так как она наполнена микро-организмами и непрерывно изменяется и перерабатывается ими.

Нельзя сомневаться в том, что большая часть других химических элементов, например йода или азота, находится в почве в таком же состоянии.

По-видимому, морской ил и почва представляют наиболее богатые живыми организмами части земной коры, причем эти последние (организмы) составляют иногда больше 20–25% их вещества. Живое вещество не только управляет химическими процессами почвы, но и само входит в ее состав.

Когда нам будет известен средний химический состав живого вещества, находящегося в почве, и средний химический состав почвы, в которой оно заключается, можно будет точно учесть химическую работу живого вещества континентов и островов.

8. Оценка среднего состава почв всего земного шара должна производиться соответственно с их природными типами и их распространением на земной поверхности. Нужно предварительно знать состав главнейших почвенных типов – черноземов, регуров, подзолов, песчаных и глинистых почв, латеритных почв, красноземов и т.д. Первые мировые схемы, например схемы К.Д. Глинки, или почвенные карты стран, в которых почвы изучались как природные тела, отличные от горных пород, например почвенные карты СССР, могут уже служить для первоначальных приблизительных оценок среднего состава почвенного покрова.

И здесь следует идти по тому пути, который дал уже ошутительные результаты для оценки среднего состава литосферы. Для почв это даже легче сделать, чем для вулканических пород, так как мощность почв точно известна: отложенные почвы (недавние и погребенные) не должны приниматься во внимание, так как единственно только современные почвенные образования составляют изучаемый нами земной почвенный покров.

9. Самая большая трудность заключается в отсутствии достаточного количества химических анализов для большинства природных почвенных типов. Имеющиеся анализы в общем содержат данные лишь для части химических элементов, входящих в состав почв. Некоторые элементы, содержание которых в почвах значительно (например, TiO_2 – иногда больше 1%), вообще не принимаются во внимание. Известно, что почвенные анализы с геохимической точки зрения очень приблизительны и не выдерживают сравнения с анализами минералов.

Необходимо внести довольно большие изменения в общепотребительные методы. Эти изменения могут быть только полезными для развития почвоведения, так как они дадут возможность сравнивать почвы с другими химическими явлениями.

Первое существенное и необходимое изменение заключается в подготовке образцов для анализа и тех поправках, которые нужно внести в результаты анализов.

Для геохимии необходимо знать средний состав почвы, насколько это возможно в его природном состоянии, т.е. с его средней влажностью. Почву нужно анализировать со всем ее содержимым, со всеми ее организмами, их остатками и другими органическими материалами. Между тем обычные почвенные анализы относятся к почвам, высушенным на воздухе или при 100°. Для того, чтобы подготовить почву для анализа, ее освобождают от организмов и их остатков. Отсюда следует, что почва геохимического анализа есть не что иное, чем почва обычных почвенных анализов.

Легко ввести поправку на влажность, используя метеорологические данные. Эта поправка увеличит процентное содержание кислорода и водорода и понизит содержание всех других элементов (кроме, вероятно Cl, N, S, Na, J).

Прежде чем производить анализ почвы, ее стараются освободить от всех находящихся в ней остатков организмов и самих организмов. Нельзя было бы ничего возразить против подобного приема, если бы его можно было довести до конца и освободить почву от всех организмов, от всех их остатков и других органических материалов. Но это невозможно: большое количество организмов (микроскопических) и не менее значительная часть органических остатков всегда остаются в образцах, подвергающихся анализу.

Почва наших анализов не представляет природного тела, это предмет, не существующий как таковой в природе. Мы не можем даже внести в наши данные необходимые поправки, так как не знаем ни количества вещества, которое мы устраним из анализов, ни его химического состава. Известно, что эти поправки касались бы всех химических элементов, входящих в состав живого вещества. Известно также, что концентрация этих элементов в подвергшихся анализу частях почвы и в живых и органических частях ее, которые были устранены, очень различна.

10. При анализах должны учитываться все химические элементы почвы. Конечно, в конце концов они должны быть определены все, но для начала достаточно обратить внимание хотя бы на важнейшие из них.

Результаты анализов должны быть выражены в элементах, а не в окисях, как это делается в настоящее время. Очевидно, что окиси как таковые не существуют в почвах, всегда богатых органическими и живыми веществами: в этих последних элементы не связаны с кислородом в сколько-нибудь заметном количестве.

Даже в анализах горных пород окиси не всегда дают достаточное представление о составе этих пород, например там, где породы богаты хлором, фтором или сернистыми соединениями. Данные анализов земных вод давно уже перестали выражать в форме окисей. Данные же почвенных анализов искусственно увеличивают содержание кислорода в такой мере, которая в точности не может быть учтена.

Кислород является единственным химическим элементом, прямое определение которого в почвах представляет большие трудности. Однако же трудности эти не непреодолимы. Даже не прямое определение кислорода, основанное на разнице между суммой всех элементов и общим весом почвы, вероятно, дает все же более точные данные, чем те максимальные количества его, которые получаются при выражении данных анализа в форме окисей.

Кроме количественного определения входящих в почву химических элементов, с геохимической точки зрения, важно также определение и их валентности. Точное определение валентности железа – наиболее важного элемента с этой точки зрения – сделалось уже обычным при анализах пород и минералов. Я думаю, что нет таких анализов почв, где была бы определена форма железа. Данные почвенного анализа выражают его обычно в форме трехвалентного железа Fe_2O_3 . Известно, однако, что это не соответствует истине, так как, например, в живом веществе и происходящем от него органическом веществе преобладает двухвалентное железо. А между тем валентность атомов железа в среде земных реакций имеет огромное значение. Определение этой валентности в связи с проблемой плодородия почвы представило бы большой интерес.

11. Химические элементы находятся в почвах в трех различных средах:

- 1) в *скелетной части* почвы – мало измененные материнские породы – А;
- 2) в *живом веществе* и его более или менее разложившихся остатках – В;
- 3) в *новых концентрациях*, образовавшихся в почвах (может быть, путем биохимических процессов), – более или менее стойкие илистые почвенные минералы – С.

Скелетная часть – А – не находится в тесной связи с химией почв. В среднем составе почвенного покрова она соответствует среднему составу осадочных и таковому же изверженных пород, взятых в отношениях, соответствующих их распределению на земной поверхности.

12. Химию почв определяют средние состава С и В. Химическое изучение этих частей почвы является главной целью геохимического изучения почв.

Живое вещество – В, содержащее по меньшей мере 28 химических элементов, может концентрировать в почве следующие элементы: В, С, N, O, H, F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se(?), Sr, Mo, Ag, Sn, Ba, Au(?), Pb, Bi, Li, Sc, Br, Rb, J, Cs, Ce, (Y).

13. Часть С, с точки зрения геохимии, – самая важная. В нее входят те химические элементы, составные части которых мало растворимы в земных водах и которые концентрируются в почвах в виде осадков из илистых минералов.

Если принять во внимание, что растворимые части почвы концентрируются при помощи рек в морской воде, то станет ясно, что остающиеся в почве элементы образуют концентрации – илистые минералы – на островах и континентах и не входят в состав осадочных пород морского происхождения. Составные части их переходят в бассейны океанов лишь в виде пыли и продуктов разрушения горных пород во взвешенном состоянии.

Мы можем, не ручаясь за точность, дать сейчас пока следующий перечень элементов С:

C, N, F, Al, Si, P, S, K, Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Y, Zr, Sn, Sb (?), As (?), J(?), Ba (?), редкие земли (?), Hf, Pb (?), Bi (?), Th.

Различение и количественная оценка химических элементов частей А, В и С в общей массе почв и в их естественных типах составляет одну из актуальных проблем геохимии, которая не может быть разрешена до тех пор, пока неизвестен средний химический состав почв.

14. Не ручаясь за точность, даю здесь набросок среднего состава почв, основываясь на имеющихся данных. Этот состав соответствует почвам в сухом состоянии. Введение воды, увеличивая процентное содержание кислорода и водорода, уменьшает содержание всех остальных элементов (кроме С, N, S, Cl, J (?)).

Среднее содержание почв по декадам процентов

Декады	Проценты	Элементы
I	Более 10 ¹	O, H, Al, Si
II	10 ¹ –10 ⁰	C, Na, K, Ca (?), Fe
III	10 ⁰ –10 ¹	N, Mg (?), P, S, Cl (?), Ti, Ba
IV	10 ¹ –10 ²	V, Mn, Sr
V	10 ² –10 ³	Li(?), Ni (?), Cu, Zn, Rb, Zr (?)
VI	10 ³ –10 ⁴	Cr, Co, S (?)
VII	10 ⁴ –10 ⁵	As, Th (?)

В почвах были найдены следующие элементы: U и его производные, Ra ($n \cdot 10^{-12}$ %), Ga, Mo, Ag, Au, Sb, Pb, F, Be, В.

Известно, что Bi, Se, V, Sn, Br, Sc должны в них находиться, так как они существуют в организмах.

ПОСЛЕСЛОВИЕ 1936 г.

1. Редакция «Почвоведения» решила издать перевод моей статьи, имеющей больше чем десятилетнюю давность¹. Несомненно, многие данные этой статьи устарели, но основные принципы кажутся мне не только и сейчас верными, но за истекшее время получившими большее обоснование; они могут встретить сейчас большее внимание и более углубленную критику, чем это было возможно в 1926 г.

Таблица среднего химического атомного элементарного состава почв, впервые приведенная в этой статье, могла бы быть значительно изменена и явно не отвечает современному состоянию наших знаний. Не только вычислены первые количественные данные для воды (В.К. Агафонов), но и для очень многих химических элементов получены новые данные не только их порядка, но и их числа.

Однако, мне кажется, что как раз в данный момент едва ли было бы правильным вносить эти поправки – проделывать для этой цели по существу большую работу.

Тонкий слой почв – *педосфера*, даже если к нему прибавить аналогичный слой илов водных бассейнов, теряется в составе земной коры (даже если ей придавать наименьшую величину – 16 км, как это делал Ф. Кларк). Эти слои

¹ Доклад на IV конференции почвоведов в Риме в 1924 г.

получают значение и, может быть, явятся особой геосферой среди других, когда будет вычислен средний атомный состав *биосферы*, а не земной коры.

Эта задача сейчас реально поставлена в Академии наук Биогеохимической ее лабораторией и, можно надеяться, в два–три года, а может быть и раньше, будет разрешена. Для этого потребуются совместная работа ряда учреждений Академии и океанографических и гидрологических учреждений Союза, принципиально выразивших на это согласие. Работа должна начаться в 1936 г., и она, прежде всего, потребует новых анализов и пересчетов химического атомного состава почв на основе прежде всего почвенной карты Союза. Очевидно, для этой работы должны быть учтены все имеющиеся данные о составе почв.

Через короткий относительно срок мы будем иметь числа, гораздо ближе стоящие к действительности, чем те, которые мы имеем нынче.

2. Но есть еще одно соображение, этому решению не противоречащее, оставшееся не подчеркнутым и не явно высказанным в этой статье, – это по существу *сложный, разнородный атомный состав почв* и средних его выражений.

Атомы почвенного покрова принадлежат отчасти к косному веществу земной коры, частично – к живому. Желательно и важно количественно учитывать эти два явления отдельно. Надо постараться учесть это при создании кларков биосферы. Дело в том, что в геохимическом аспекте числа среднего атомного состава для почв – и еще более для живого вещества – несравнимы с обычными кларками. *Это особого рода кларки.*

Кларки живого вещества отвечают атомам, обладающим действенной свободной энергией, кларки косной материи такой энергией обладают в несравнимо меньшей степени. В *биосфере* это, обычно для них, химическая и физическая энергия (частичных сил), медленно развертывающаяся в природе и в большинстве случаев ярко сказывающаяся в течение геологического времени или иногда долгого исторического. Для живого вещества эффект сказывается быстро – он мог бы наблюдаться в секунды и минуты и даже в более короткие промежутки времени – и ярко и мощно выявляется в годовом цикле земной природы. Эта действенная энергия, названная мною в атомном аспекте биогеохимической энергией, несмотря на относительно малое количество атомов, ею захваченных, играет первостепенную роль в изучаемых нами процессах.

В живых существах практически ею охвачены все атомы, в почве количество материи, ею охваченное, в пределе может достигать 25% ее массы, может быть больше. В земной коре Ф. Кларка, 16 км мощностью, количество этой материи едва ли превышает порядок 10^{-20} ее массы. В биосфере (4 км ниже уровня геоида) и 20 км выше (воздух) едва ли количество биомассы превысит порядок 10^{-10} %, но коэффициент будет большой.

Несмотря на такое (по массе) ничтожное количество атомов, создающих биогеохимическую энергию, их влияние, прямое и косвенное, сказывается, по-видимому, на всем протяжении земной коры Кларка, а может быть, простирается и глубже.

Различие атомов, захваченных жизнью, сказывается в почве тем, что средний их уровень – весовой процент, например, данного атома, выдерживается, не уменьшаясь (т.е. жизнь захватила все атомы, которые могла). Так, в почвах

захвачены жизнью практически все атомы углерода, азота, меди, цинка, бора и многих других элементов, находящихся в «следах». Эти атомы находятся почти всегда, по-видимому, для почв в их организмах. Жизнь в почвах в очень многих случаях ограничивается в своей биомассе недостатком тех или иных атомов. Она, извлекая их из среды, увеличивая биомассу размножением, оказывает давление в этой среде, производит работу. Она стремится извлечь из окружающей среды в нужном ей количестве все элементы.

Миграции захватываемых элементов идут в повышенном темпе: ничего подобного не наблюдается в косной среде и ни о чем аналогичном не дают и намеков кларки земной коры.

Для того чтобы сравнивать с этими последними кларки живого вещества и часть кларков почвенного покрова, необходимо учесть темп размножения (создание биомассы), внося поправки на биогеохимическую энергию.

Это должно быть учтено при оценке среднего химического элементарного состава почвенного покрова нашей планеты.

Январь 1936 г.

БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ РОЛЬ АЛЮМИНИЯ И КРЕМНИЯ В ПОЧВАХ*

А.А. Роде напечатал недавно в «Почвоведении» (1938, № 2) интересную и заслуживающую внимания статью о дисперсности почвы. В ней он дал на стр. 214 сводку, к сожалению неполную, данных о минералогическом составе мельчайших фракций почвы, которые до последнего времени считались почвоведом коллоидными. К сожалению, он и наши почвоведы, как я вижу из его статьи, не учли всего нового и большого, что вытекает из этой таблицы.

Все кристаллические минералы, рентгенометрически определенные, указанные А.А. Роде, принадлежат к одной определенной группе минералов – к каолиновым алюмокислотам. Этот факт был раньше установлен в почвах другим методом – термическим анализом.

Таким образом, никакого сомнения не может быть в существовании явления, установленного двумя независимыми точными методиками. И никаких данных мы не имеем, которые бы указывали на их образование вне почвы. Из этого факта вытекает, что в почвах, сколько мы можем судить, *всюду идет новообразование свободных кристаллических каолиновых алюмокислот и оксиалюмокислот (каолиновых глин).*

Так как я считал вскрывшееся за последние годы выделение свободных алюмокремниевых кислот каолинового ряда в почвах имеющим огромное значение в понимании основных почвенных процессов, в частности явлений питания растений и биогеохимии алюминия и кремния, я поставил в 1935 г. в этом направлении работу в Биогеохимической лаборатории Академии наук СССР при переезде ее в Москву. Я исходил из эмпирического обобщения,

* Впервые опубликовано в: ДАН СССР. 1938. Т. 21. № 3. С. 127–129. В дальнейшем опубликовано в: Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. С. 325–327.

что выяснившийся процесс, который идет под влиянием живого населения почв, есть *биогеохимический процесс*, основной, раньше неизвестный в геохимии алюминия и кремния. Неоконченные работы лаборатории уже дали ясные результаты, которые позволяют утверждать, что это обобщение было верным.

Ввиду резко иного понимания этих явлений, как видно из статьи Роде, почвоведов, считаю нужным обратить здесь внимание на возможность иного понимания этих явлений, чем то, которое дается в этой статье.

Я исходил из работ французских почвоведов и минералогов, которые остались, к сожалению, как я вижу, совершенно неизвестными А.А. Роде. Проф. В.К. Агафонов, введя термический метод исследования почв и почвенную методику В.В. Докучаева, первый над почвами Франции и Туниса доказал широкое распространение кристаллических каолиновых кислот в тончайших фракциях почв, считавшихся коллоидными. Этот вывод можно теперь распространить на все почвы, в том числе и на наши. Надо иметь в виду, что каолиновые алюмокремниевые кислоты (монтмориллонит, галлуазит, каолинит, диккит и т.д.), которые выделяются в почвах, недостаточно минералогически изучены. Процесс их образования сложен, и точная формула не всегда ясна. Особенно это касается монтмориллонита, наиболее обычного. Он близок к гидрату $H_2Al_2Si_4O_{12} \cdot n aq$, но всегда содержит *магний*. Можно думать поэтому, что он образуется распадением магниевых алюмосиликатов (слюд). Необходимо воспроизвести его синтетически в чистом виде и точно изучить продукты разложения слюд бактериями.

Биогеохимически можно считать, что указанные почвенные новообразования – кристаллические каолиновые алюмоокислоты – являются результатом бактериальных и, может быть, грибных процессов, микробного населения почв и их питания калием, извлекаемым ими из солей каолиновых алюмокремниевых кислот (полевых шпатов, слюд и т. д.), всегда в детрите почв присутствующих. Общность явления во всех почвах заставляет видеть в *новообразовании* (а не детрите) каолиновых алюмоокислот общее явление в геохимии алюминия и кремния.

По существу приходится вновь пересмотреть (и до известной степени вернуться к старому объяснению) вопрос о *поглощательной способности почв*.

Нельзя забывать, что почвы, переполненные живым веществом, не являются косными естественными телами. Это сложные естественные тела, закономерно построенные из живых и косных естественных тел, *биокосные природные тела биосферы*.

При объяснении явлений поглощения в почвах почвоведы учитывали химические процессы и проявления частичных сил, но оставляли в стороне самую большую силу, существующую в почвах, – *живое вещество*¹.

В последнее время у нас придавали особое значение в этом явлении частичным силам. Однако тут много неясностей. В частности, для поглощающего комплекса *недопустимо разделение алюминия от кремния в каолиновом ядре* простым действием частичных сил. В частных разговорах с покойным К.А. Гедройцем я указывал ему на это обстоятельство, так как каолиновое ядро – $Al_2Si_2O_7$ есть *эндотермическое соединение*, которое с трудом разлага-

¹ Живым веществом я называю совокупность живых организмов почвы.

ется даже химическими силами. Но разложение его может идти легко, как мы знаем это из опыта, *биохимически*.

Огромное значение живого вещества в почвах заставляет не считаться с выводами из опытов, которые идут в присутствии жизни, не в *стерильных условиях*. Проявление живого вещества сказывается в них, в условиях, благоприятных для жизни, в течение немногих часов. Необходимо во всех опытах над поглощением солей почвами с этим считаться и ставить опыты стерильно. Таких опытов, сколько я знаю, нет.

Поглотительная способность почв может являться или биологическим динамическим процессом бактериальной жизни, или процессом химическим, образованием кислых солей¹ из свободных каолиновых алюмокислот, которые бактериально образуются, и наконец, проявлением частичных сил, однако не в случае каолинового ядра.

Сейчас, особенно когда вопрос о значении частичных сил в процессах поглощения солей почвами должен быть пересмотрен, мы должны считать не ясным причину этого явления. *Необходимы новые опыты по новым путям*. Возможно, как это обыкновенно бывает в явлениях, связанных с живым веществом, что мы имеем здесь дело со сложным и своеобразным биогеохимическим процессом.

Надо еще иметь в виду, что наряду с бактериальным образованием свободных алюмокремниевых каолиновых кислот *в почвах идет более глубокий процесс разложения каолинового ядра*: отделение алюминия от кремния биохимическим путем – действием диатомовых водорослей, всегда находящихся в почвах. Это явление было открыто для воды океанов Мерреем. Опыты, идущие в нашей лаборатории, доказывают, что чистая культура диатомовых разлагает каолиновое ядро. Однако эти диатомовые развиваются лучше, размножаются быстрее в присутствии бактерий и амёб (Ср. *А.П. Виноградов*. Успехи химии, 7, 1938, 653).

Проблема поглотительной способности почв требует, ввиду ее важности в вопросах земледелия, нового, широко и глубоко поставленного исследования и пересмотра.

Считаю поэтому правильным, не ожидая опубликования результатов нашей работы, медленно идущей вследствие недопустимой для правильной научной работы скученности нашего помещения, указать здесь на ее последствия ввиду огромного научного и практического значения того или иного взгляда на поглотительную способность почв. Было бы правильно, чтобы одновременно с нами почвенные и агрономические лаборатории, обладающие большими возможностями правильной постановки научной работы, приняли сейчас же участие в нашей работе.

Сейчас в этой важнейшей области природных явлений мы встречаемся с неясностями и научно не обоснованными представлениями, которые отражаются на каждом шагу в больших вопросах земледелия, но в то же самое время относительно быстро могут быть научно разрешены при широкой совместной, определенно организованной работе. Время для этого давно пришло, а жизнь требует этого, кажется мне, настойчиво.

¹ В свое время (1910) я указывал, что это не цеолиты, а особая, мало минералогически изученная группа минералов, названная мною цеолитоидами.

О ЗНАЧЕНИИ ПОЧВЕННОЙ АТМОСФЕРЫ И ЕЕ БИОГЕННОЙ СТРУКТУРЫ*

1. Хочу обратить внимание читателей «Почвоведения» на ряд новых важных работ (1942–1944) одного из крупнейших биологов – академика Н. Г. Холодного¹. Задачей моей сейчас является поставить их в рамки современной биогеохимии.

Как видно из заглавия и содержания первой из его работ, он счел возможным научно заговорить о синтезе живых организмов непосредственно из косной материи, об их абиогенезе.

В наше время этот вопрос едва ли мог так просто трактоваться, как это было возможно в прошлом столетии, когда вопрос об абиогенезе, казалось, был решен окончательно в отрицательном смысле после работ Л. Пастера (1822–1895) и поднятого им нового научного понимания явлений жизни, после открытия им значения мощного земного (планетного, как, мы видим теперь) явления – мира земных микробов².

2. В последние годы как в геологии, так и в астрономии³ выяснились новые большие эмпирические обобщения, которые в корне меняют наши представления о прошлом и настоящем нашей планеты, с одной стороны, и о значении живого вещества на других планетах – с другой. В последней сводке наших знаний по геологии крупного американского геолога проф. Ч. Шухерта (1858–1942) и его ученика К. Дёнбара, в которой критически переработаны результаты многолетней геологической работы и которая является очень авторитетной в США, выяснено, что мы нигде на нашей планете не имеем геологических слоев, которые бы образовались в среде, лишенной жизни⁴. Жизнь геологически вечна.

В тех случаях, когда в них нет остатков животных и растений в виде ли отпечатков или скелетов, все же нельзя не согласиться с Ч. Шухертом, что всюду, даже в самых древних слоях, мы встречаемся в них с биогенными минералами, не вызывающими сомнений в своем генезисе, и мы вынуждены допустить существование мощной жизни при их образовании.

Вследствие этого Шухертом произведено коренное изменение номенклатуры для древнейших слоев Земли, и вместо прежней «азойской», т.е. «безжизненной», эры им было введено представление об эре «криптозойской», т.е. «скрытожизненной».

3. Почти одновременно с этим произошел перелом и в нашем представлении об атмосферах планет, в том числе и нашей Земли. В начале этого сто-

* Впервые опубликовано в: Почвоведение. 1944. № 4–5. С. 137–143. В дальнейшем опубликовано в: Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. С. 328–336.

¹ Академик *Н.Г. Холодный*. Возникновение жизни и первичные организмы. Изв. Арм. филиала АН СССР № 9–10, Ереван, 1942; *его же*. О выделении летучих органических соединений живыми организмами и об усвоении их микробами почвы. Докл. АН СССР, 41, № 9, 1943, 416–418; *его же*. Атмосфера как возможный источник витаминов. Докл. АН СССР, 43, № 6, 1944, 272–275; *его же*. Летучие выделения цветов и листьев как источник питания организмов. Докл. АН СССР, 43, № 2; *его же*. Дарвинизм и эволюционная физиология, изд. Арм. филиала АН СССР, Ереван, 1943.

² *А.И. Опарин*. Возникновение жизни на Земле, изд. 2. М. – Л., 1941.

³ *H. Spencer Jones*. The Life on Other Worlds. N. Y., 1940.

⁴ *Ch. Schucherta*. C. Dunbar: A Textbook of Geology, II, N. Y., 1941, p. 121.

летия (1915 г.) впервые крупный английский химик В. Рамзай (1852–1916) показал, что формула Лапласа для земной атмосферы уже на высоте 15 км от уровня геоида не отвечает действительности.

Отношение между кислородом, более тяжелым, и азотом, более легким, остается в этом интервале (15 км) неизменным. Между тем, по формуле Лапласа, количество кислорода должно было сильно уменьшиться.

П. Лаплас (*P. S. de Laplace*, 1740–1827) считал, как считали до последнего времени и все астрономы, что отношение количества разных газов в атмосфере определяется только всемирным тяготением, и по мере удаления от уровня геоида количество тяжелых газов должно быстро уменьшаться пропорционально атомному или молекулярному их весу.

Теперь имеются анализы Э. Регенера для атмосферы на высоте 41 км от уровня геоида, и отношение $O_2 : N_2$ остается таким же, как и на земной поверхности. Формула Лапласа не отвечает действительности.

4. Сто лет тому назад, в 1844 г., была ясно установлена французскими химиками и агрономами – Ж. Буссенго (1802–1887) и Ж. Дюма (1800–1884) зависимость атмосферы Земли от статики ее жизни, ее живого вещества. В своих замечательных лекциях, легших в основу современной научной агрохимии, они ярко генетически связали атмосферу Земли с ее жизнью. Дюма и Буссенго выразили это в афоризме: «Жизнь на Земле может быть рассматриваема как “придаток атмосферы”¹».

В 1931 г., исходя из данных геохимии, это представление Дюма и Буссенго я изменил в своих основах². Жизнь не есть «придаток атмосферы», но живое вещество (я употребляю понятие «живое вещество» как совокупность живых организмов) *создает земную (планетную) атмосферу*. Подавляющая масса газов, образующих земную атмосферу, *биогенна*. Создание атмосферы на нашей планете есть геохимическая функция живого вещества.

Недавно, в 1943 г. сделан дальнейший шаг: проф. Р. Вильдт в США (Princeton в штате Нью-Йорк) распространил этот вывод на все планеты, как на тяжелые «земные» – Венеру, Землю и Марс (уд. вес 3,84–5,52), так и на легкие «гигантские» – Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун (уд. вес 0,69–1,22)³.

5. Обратимся теперь к эмпирическим обобщениям академика Н.Г. Холодного, выраженным им ясно и точно. Привожу их, сколько возможно, его словами.

Он говорит: «Если исследовать почву, сравнительно богатую питательными веществами, то наблюдателя поражает прежде всего разнообразие населяющих ее микроорганизмов. В то же время бросается в глаза резкая зависимость характера этого населения от внешних условий: влажности; температуры, большего или меньшего доступа кислорода, наличия тех или иных питательных веществ.

¹ *J. Dumas et J. Boussingault*. «Essai de statique chimique des êtres organisés», Paris, 1844, p. 44–46.

² *В.И. Вернадский*. Об условиях появления жизни на Земле. Изв. АН СССР, сер. VII, ОМОН, 1931, 645.

³ За единицу принимается удельный вес воды при 4° и 760 мм давления. Самая легкая планета – Сатурн – легче воды, самая тяжелая – наша Земля (уд. вес 5,52). Знаю эту работу Вильдта только по письмам. Ее заглавие: «The geochemistry and the atmospheres of Planets».

Огромное большинство микроорганизмов, открываемых в почвах описанными методами непосредственного наблюдения, относится к бактериям, актиномицетам, различным семействам грибов и к простейшим (Protozoa). Многие из них, несомненно, принадлежат к видам, еще не изученным и не выделенным в чистой культуре, но принадлежность их к тем или иным группам микроорганизмов, установленным современной систематикой, не вызывает сомнений. Однако наряду с этими более или менее банальными формами, составляющими, так сказать, основной биофон исследуемых препаратов, изредка, как исключение, встречаются формы, при виде которых наблюдатель, даже отлично знакомый с миром микроскопических живых существ, невольно становится в тупик. Их совершенно невозможно отнести к какой-либо из известных систематических единиц, на которые мы в настоящее время делим бактерии, актиномицеты и другие простейшие организмы. В то же время принадлежность их именно к живым существам в большинстве случаев едва ли может возбуждать сомнение, несмотря на всю примитивность их организации»¹.

«Я убежден, – говорит он дальше, – что дальнейшее, более глубокое и внимательное изучение почвы с помощью описанных здесь и других методов современной микробиологии значительно расширит наши знания в этой области и приблизит нас к решению вопроса *о первичных организмах*»².

«Как мы видели, наиболее вероятно предположение, что первичные организмы – *архебионты* – были приспособлены к воздушному питанию: они получали из воздуха углерод в виде готовых органических соединений, в первую очередь углеводов, и азот в виде аммиака. Твердый субстрат, на котором они обитали, служил для них только источником минеральных веществ и частично воды»³.

И дальше: «Из испытанных нами углеводов наилучшие результаты дал *нафталин*. Оказалось, что в почвах широко распространены бактерии, способные использовать это вещество как питательный и дыхательный материал»⁴.

«Несколько можно судить по полученным нами данным, питание микроорганизмов газами и парами гораздо шире распространено в природе, чем думали до сих пор.

Другие мои опыты, на которых я не могу здесь подробно останавливаться, показали, что многие микробы довольствуются таким ничтожным содержанием в воздухе органических веществ, которое с трудом может быть обнаружено самыми тонкими аналитическими методами»⁵.

«Таким образом, колыбелью жизни на Земле была, по всей вероятности, поверхность обнажившегося из-под воды дна мелких водоемов, и первые этапы своего эволюционного развития архебионты проводили не в воде, а на поверхности влажного, но твердого субстрата.

¹ Н.Г. Холодный. [Возникновение жизни и первичные организмы]. Изв. Арм. филиала АН СССР, № 9–10, 1942, с. 100.

² Там же, с. 101. Разрядка моя.

³ Там же, с. 102. Разрядка моя.

⁴ Там же, с. 102. [Примеч. ред.].

⁵ Там же, с. 103.

В связи с этим архебионты были приспособлены главным образом к воздушному питанию: необходимые им углеродистые и азотистые соединения они получали из окружающей атмосферы – в виде различных органических веществ (в первую очередь углеводов) и аммиака. Источником энергии для них вначале могли быть только анаэробные процессы... ввиду отсутствия в атмосфере свободного кислорода»¹.

«Весьма вероятно, что и в современную нам эпоху среди микроскопических обитателей почвы *имеются прямые потомки архебионтов, сохранившие основные черты их морфологической и биохимической организации*»².

«Применяя методы непосредственного наблюдения почвенных микроорганизмов в их естественной среде, а также элективные культуры, можно проверить правильность этого предположения и в случае удачи составить себе более полное и точное представление об организмах, бывших пионерами жизни на Земле.

Возможно, что наличие у современных почвенных микроорганизмов способности к воздушному питанию различными органическими соединениями, в том числе и нерастворимыми в воде углеводородами, коренится в их наследственной связи с архебионтами»³.

Позже, в § 10, я вернусь к вопросу о том, какому ныне известному явлению отвечают *архебионты* Н.Г. Холодного. Прежде, однако, вкратце остановлюсь на том, почему из обычной косной материи не может произойти *в биосфере* живое вещество, почему простой абиогенез из обычной *косной среды* невозможен.

Область, которой мне приходится касаться, мало изучена, но все же имеющиеся точные данные достаточны для того, чтобы можно было утверждать, что не всякое косное вещество может быть превращено в живой организм, который произойдет самозарождением из косного вещества, как это считает возможным Н.Г. Холодный, а не пройдет через поколения предков.

б. Все организмы, все живое вещество *рождается поколениями. Ни одного исключения для этого явления мы не знаем*, хотя иногда процесс идет сложным путем. Для одноклеточных, микробов, грибов, инфузорий и т.п. это связано с *суточным движением Земли*. Для многоклеточных, в том числе и человека, это связано с *годовым вращением нашей планеты вокруг Солнца*.

Организм рождается из спор, зерен, семян, яиц. И даже вегетативное размножение растений в конце концов может быть точно сведено к поколениям.

Мы знаем сейчас, что в их размножении могут быть остановки жизненных проявлений для зерен, спор, а иногда и целых организмов – *анабиоз, латентное состояние – на тысячи лет*, а вероятно и много больше.

Таковы, например, коловратки и некоторые ракообразные, а также водоросли в вечной мерзлоте Сибири, явление, на которое обратил внимание в последние годы П.Н. Каптерев (1934). Явление это было впервые открыто в XVII веке А. Левенгуком в Гаате, в Голландии (1632–1723).

¹ Там же, с. 104.

² Там же, с. 105. Разрядка моя.

³ Там же.

К сожалению, П.Н. Каптерев заболел и должен был бросить работу, которая не доведена им до конца и до сих пор научно не опубликована Институтом мерзлотоведения Академии наук и связанными с этим вопросом нашими биологическими институтами.

Такая медлительность в окончательной разработке научных открытий такого большого масштаба показывает коренные недостатки в структуре нашей Академии. С этим мириться нельзя. Академия должна обратить на этом внимание и закончить и опубликовать такие важные достижения ее ученого персонала.

7. Прежде чем идти дальше, надо остановиться на одном явлении, которое стало известным в последнее время.

Мы имеем – *в атомном аспекте – две формы косной материи в биосфере*. Во-первых, та материя, которая строит окружающие нас небиогенные минералы и такие же горные породы, в подавляющей массе образовавшиеся или глубже биосферы, т.е. при отсутствии живого вещества – вне области жизни, или те, которые образуются в пределах биосферы на глубине нескольких километров, на нашей планете порядка 3–5 км.

Мертвые (косные) небиогенные горные породы и минералы по массе во много раз превышают массу всего живого вещества биосферы. К сожалению, эти небиогенные минералы и горные породы не изучены и не учтены в достаточной мере в своем атомном изотопическом строении.

Мы имеем дело с ними на каждом шагу, когда живое вещество *умирает*, но строящая его мертвая (косная) материя остается в большей своей части на месте смерти.

Биогенные минералы и горные породы сохраняются на месте и химически не целиком разрушаются. Они прочно сохраняют свой материальный субстрат. Я назвал эти тела *биокосным веществом*¹.

Почвы, морские, речные, озерные воды, нефти, угли, битумы являются разного рода биокосными телами. Едва ли возможно разделить количественно до конца живую и биокосную структуру.

Априори нельзя отрицать в этом случае *возможности абиогенеза*, так как атомный состав жидкого и косного вещества может быть здесь изотопически идентичен.

Эта область явлений требует научно-критического экспериментального исследования.

8. В 1926 г. я указал на своеобразие² химического состава живого вещества. При жизненных процессах идет количественное изменение изотопического строения химических элементов живого вещества. Дальнейшие успехи науки показали, что это явление свойственно не только живому веществу, но *проявляется и в косных процессах*, например в продуктах вулканических извержений.

Я указал на это в 1934 г.³ как на общее явление метаморфических пород и минералов. В 1941 г. было выяснено, что вода в серпентинах, тальках

¹ В.И. Вернадский. Проблемы биогеохимии, П. М.–Л., 1939, с. 10 и 11.

² В.И. Вернадский. Изотопы и живое вещество. Докл. АН СССР, сер. А, декабрь 1926, 215–218.

³ W. Vernadsky. Où doit-on chercher l'eau lourde du point de vue géochimique. C. r. Acad. sci., 199, 1934, 694.

и в хлоритах связана с увеличением количества тяжелого кислорода: O^{18} (вместо O^{16})¹.

В этом же году в работе А.П. Виноградова и Р.В. Тейс² доказано, что количество «тяжелого» изотопа кислорода увеличивается при хлорофилльном процессе водной *Elodea canadensis* Rich.

9. Из всего вышеуказанного, учитывая, однако, небольшое количество опытов, прерванных у нас войной, можно считать более чем вероятным, что изменение изотопического состава элементов организмами – *живым веществом* – происходит в биосфере *при обыкновенном давлении и обыкновенной температуре поверхности* Земли, тогда как для *косной среды* аналогичный процесс *происходит только при высоком давлении и высокой температуре* в недрах метаморфической оболочки. Дальнейшие исследования выяснят это явление более точно. Пока мы можем только его учитывать. Но во всяком случае ясно, что *синтез жизни требует предварительного изотопического изменения химических элементов*.

Для данного частного случая мы пока не можем идти дальше. Мне кажется, что можно рассматривать, как рабочую гипотезу, предложение академика Н.Г. Холодного в его чрезвычайно интересной работе. Мы имеем здесь дело не с абиогенезом в старом его понимании.

10. Стоя на эмпирической точке зрения, можно утверждать, что *архебионты* академика Н.Г. Холодного вполне отвечают другому нам известному природному явлению. Оно было названо в 1931 г. И. Вильзером, тогда профессором в Фрейбурге, а в 1938 г. в Гейдельберге – *персистентами*³.

Персистенты – это те организмы, которые не меняются в своем морфологическом характере с ходом геологического времени. Для них как бы останавливается эволюционный процесс. Мы знаем, что в целом ряде случаев эта остановка чрезвычайно длительна, например для *Lungula* она длится с кембрийского времени; следовательно, охватывая несколько сот миллионов лет, примерно 500 млн лет.

Проф. И. Вильзер указывает, что для персистентов характерно то, что они (их материальные остатки) находятся в областях нашей планеты, где затруднено или отсутствует непосредственное воздействие солнечных лучей или вообще лучистой энергии. Почва, – вернее, почвенная атмосфера, – как раз является такой областью. Мне кажется, палеонтологи и биологи не обратили достаточного внимания на книгу Вильзера.

Его представления не являются гипотетическими, а вполне могут быть рассматриваемы как эмпирическое научное обобщение, обязательное для натуралиста.

11. Еще несколько слов. Нельзя упускать из виду, во-первых, то, что мы до сих пор даже для тропосферы – нижней газовой зоны оболочки – не имеем полного ее химического анализа. Нет никакого сомнения, что в ней должны находиться все химические элементы.

Подобно тому, как это доказано для морской воды, т.е. для гидросферы, и верхней части литосферы, т.е. коры выветривания, нельзя не подчеркнуть, что все *металлы* должны находиться в тропосфере.

¹ В.И. Вернадский, А.П. Виноградов, Р.В. Тейс (при участии К.П. Флоренского). Докл. АН СССР, 31, № 6, 1941, 574.

² А.П. Виноградов и Р.В. Тейс. Докл. АН СССР, 33, № 9, 1941, 497–501.

³ J. Wilser. Lichtreaktionen der fossilen Tierwelt. Berlin, 1931, S. 161 сл.

Это давно обращало на себя внимание геохимиков. Совершенно ясно, что такое исследование должно иметь большое значение для медицины, метеорологии и, особенно, для биогеохимии, ибо разнообразие газовых минералов в тропосфере должно исчисляться тысячами видов. До войны наша Биогеохимическая лаборатория (теперь Лаборатория геохимических проблем) произвела ряд систематических количественных определений галоидов – хлора, брома, йода в атмосфере в Москве и за городом. Результаты будут обработаны и опубликованы. Лаборатория геохимических проблем должна дать полный атомный количественный анализ тропосферы.

В бытность проф. А.А. Фридмана директором Главной физической обсерватории Академии наук СССР в Ленинграде я вел с ним переговоры о систематическом химическом количественном исследовании состава атмосферы *в связи с изучением погоды*. Это было в 1916 г., может быть в начале 1917 г. Преждевременная смерть этого большого ученого остановила данную работу. Мне кажется, что эта задача должна быть разрешена теперь.

12. Метеорологи давно указывали на значение *запахов* для жизни растений, которые регулируют на нашей планете лучеиспускание в холодное небесное пространство, защищая растения от вредного охлаждения. Земледельцы давно регулируют дымом охрану культур от заморозков. Мы имеем дело с более крупным явлением, с охраной нашей Земли от потери тепла в космический вакуум.

Ясно, что число органических биогенных минералов едва изучено. Их многие тысячи. Одни терпены, которые временами дают в воздухе значительные целые атомные проценты, превышают две тысячи, тогда как все нам известные твердые природные минералы не доходят до полутора тысяч.

Это область минералогии, которая требует сейчас большого внимания со стороны минералогов.

13. Надо обратить внимание еще на одно явление, которое обычно не учитывается. Ясно сейчас уже, что *эволюционный процесс* теснейшим образом *связан с жизнью* и свойствен только живому веществу. Его нет в косной материи.

Те же самые минералы и горные породы образуются в криптозое, девоне, в третичной эре, в наше время сейчас.

Эволюционный процесс наблюдается только в живом и в части биокосного вещества. Мне кажется, впервые проф. В.О. Таусон¹ определенно высказал, что бактерии и грибы с ходом времени морфологически меняются. Открылась огромная область для исследования. Для косной материи нашей планеты (и, очевидно, для всех планет, для земных планет во всяком случае) аналогия более основная и мощная – аналогична эволюционному процессу живого вещества – это *радиоактивный распад* атомов, то явление, которое в зоны веков меняет химический атомный состав планеты и которое, например, уменьшает в ней количество атомов калия и увеличивает количество кальция и т.п.

Этим путем получается энергия, которая лежит в основе всех геологических, т.е. планетных, процессов и выявляется в высокой температуре нашей (и других) планет².

¹ Сборник, посвященный памяти К.А. Тимирязева, 1941.

² В.И. Вернадский. О значении радиогеологии для современной геологии. Тр. 17-й сессии Международного геологического конгресса, 1937 г., т. I. М., 1939, с. 215 [Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. I, С. 673].

СТРАНИЦА ИЗ ИСТОРИИ ПОЧВОВЕДЕНИЯ (памяти В.В. Докучаева)*

I

26 октября 1903 года в Петербурге после страшной, мучительной болезни скончался бывший профессор Петербургского университета Василий Васильевич Докучаев¹. Постепенно и медленно в течение многих лет развивался у него тяжелый недуг – психическое расстройство. В конце концов в последние годы он вынужден был совершенно удалиться из общественной и научной жизни. В полном сознании открытого перед ним ужаса, он напрасно старался, уже больной, найти спасение в энергичной, широкой научной работе, с трогательной силой обращался мыслью и сердцем к самым глубоким тайникам человеческой души, скрытым и неясным у него в другое время. Казалось, он стремился противопоставить надвигавшемуся несчастью всю силу, всю полноту своей личности. Все было напрасно. Личность его была окончательно сломлена.

Трудно представить себе что-нибудь более трагичное, чем его судьба, для человека, полного мысли, инициативы и деятельности. А таким человеком был всю свою жизнь Василий Васильевич. Это была крупная, своеобразная фигура, резко выделявшаяся на фоне бледной русской общественности; и всякий, кто с ним сталкивался, чувствовал влияние и сознавал силу его своеобразной индивидуальности. В истории естествознания в России в течение XIX в. немного найдется людей, которые могли бы быть поставлены наряду с ним по влиянию, какое они оказывали на ход научной работы, по глубине и оригинальности их обобщающей мысли. Так или иначе Докучаев явился главой целой школы русских ученых; влияние его стремлений и его идей ясно сказывается и все увеличивается далеко за пределами нашего отечества, и достигнутые им результаты, кажется мне, принадлежат к крупным приобретениям научного движения XIX века. Едва ли они до сих пор правильно оценены во всегда капризной и по существу очень исторически нечуткой научной среде.

В последние годы все дальше и дальше отходит в далекое прошлое личное влияние его живой, своеобразной индивидуальности. Редуют ряды его современников и даже учеников; на поле, им расчищенное, выступают новые работники, которые знают о его деятельности уже по преданию или в схематизированной передаче учебников, узнают и понимают его в пылу и в грохоте текущих научных споров и вопросов. Многие, за что ему приходилось бороться, встречаться с непониманием, выносить нападения, вошло в плоть и кровь их научной мысли, кажется им ясным, понятным и само собой разумеющимся. Поэтому, особенно нам, его ученикам, которые пережили сомнения и сопровождавшую его деятельность борьбу, надо восстановить и оценить то, что внесла эта крупная личность в общую коллективную научную работу человечества. Прошло около 20 лет после главных его работ, и уже многие годы не раздавалось в научной литературе его самостоятельного,

* Впервые опубликовано в: Научное слово. 1904. № 6. С. 5–26. В дальнейшем опубликовано в: *Вернадский В.И.* Очерки и речи. Пг.: Научн. хим.-тех. изд-во, вып. 2, 1922. С. 77–92.

¹ В.В. Докучаев родился в 1846 году. Первая его научная работа вышла в свет в 1869 г.

живого голоса. Проходит целый период в истории науки, в который сменяются научные поколения.

Я не стану давать полную картину его научных трудов или рисовать очерк его жизни. Но мне хочется здесь напомнить немногие крупные стороны его творческой работы, оценить их на фоне общей эволюции знания, в связи с современным пониманием тех явлений, в которых он в свое время явился новатором.

Главная работа его мысли была направлена на изучение почв, и можно сказать, что в значительной степени в связи с его деятельностью эта отрасль знания, до тех пор имевшая в русской ученой среде немногих представителей, получила широкое развитие, привлекла к себе многих энергичных и талантливых работников.

Через все многочисленные и разнообразные работы Докучаева – над русским ли черноземом или черноземом Сибири, почвами Поволжья или Малороссии, севера или юга России – красной нитью проходят две идеи, которые постепенно и заметно входят в общее научное сознание. Они характеризуют всю деятельность как В.В., так и его учеников – выделяют в науке русскую школу почвоведения, прямо или косвенно связанную с научной мыслью и работой Докучаева.

Это, во-первых, идея о географическом распределении почв в связи с их генезисом, то есть идея географии почв, и во-вторых, идея о почве как особом естественном теле. В разъяснении этих идей, в их зарождении и упрочении в поколении русских ученых заключается главная заслуга Докучаева.

Он работал в такой области знания, в науках наблюдательного характера, где нет места блестящим открытиям, которые составляют гордость и силу натуралиста-экспериментатора, где нет возможности путем математического анализа или синтеза достигнуть нового и неизведанного и раскрыть его перед удивленными современниками. По существу вопросов, подлежащих исследованию, выдающийся естествоиспытатель-наблюдатель познается по ширине и глубине идей, которые он вносит в исследование, по тем схемам, какие он открывает в запутанной и туманной области природных явлений; эти идеи и схемы служат затем путями, по которым более или менее долго, иногда многие десятилетия, движется мысль научных поколений, приходит к новым обобщениям, схемам и к новым идеям, разрушающим или углубляющим старые. Нередко эти идеи и эти схемы не выделяются резко и ясно на фоне будничной работы ученого, лишь постепенно проникают в труды его или его учеников. Выяснение таких идей до известной степени происходит тогда бессознательно, не может быть сведено к хронологическим датам, к определенным исследованиям. Наблюдается как бы сложная коллективная работа, в результате которой действительное влияние отдельной личности с трудом может быть документально выделено из сплетенной и перепутанной общей мысли.

Если исследователь почему бы то ни было не имел времени связно и целюно обработать свои мысли, был завален текущими вопросами дня, его основные идеи высказывались лишь между прочим; и хотя в действительности они являлись самым важным и основным элементом его деятельности, не они бросались в глаза современникам и последующим поколениям, не они отмечались в научной библиографии и литературе. Иногда их можно понять, толь-

ко окинув взором всю совокупность его научных работ; только тогда видно, как эти идеи повторяются на разные лады, составляют основной тон научной мысли исследователя, нигде не выражаясь однако выпукло и полно, никогда не служа предметом самостоятельной обработки. Нередко даже, много позже, те же идеи систематически и связно излагаются, как новые, другими, у которых они незаметно возникли в атмосфере, созданной трудами и мыслью предшественника. Поэтому в наблюдательных науках особенно трудно детально выяснить генезис общих идей и общих задач исследования.

Еще труднее понять значение определенной личности в выяснении общих идей тогда, когда эти идеи стали уже обиходными в научной жизни, кажутся более молодым поколениям совсем ясными и понятными, не требующими никаких объяснений, и когда в научном сознании современников не существует понимания настоящей роли их духовного творца.

Таковы, *de facto*, те две идеи, которые развиты в трудах Докучаева. В этой области у него были предшественники, но они не были ему известны. Руководящие мысли, наполнявшие научную деятельность Докучаева в почвоведении, казались его современникам странными и неправильными. Он впервые вдохнул жизнь в эти идеи, самостоятельно выработал их форму; благодаря его усилиям и его энергии, они уже больше не сходили с научного поля, но понемногу целиком проникли в наше научное сознание.

II

К концу своей жизни, в трепетной борьбе с одолевшим его недугом, он выдвинул так называемый им закон зональности¹. Он понимал под этим именем совокупность различных явлений, находящихся между собой в связи, составляющих гармоническое целое и вместе подчиненных определенным широтным и высотным поясам (зонам) на земном шаре. Он соединял здесь как такие явления, зависимость которых от этих факторов давно уже ясно сознавалась и много раз указывалась, – данные зоогеографии, климатология, ботаническая география, – так и типы и характеры почв.

В признании за условиями распространения и происхождения почв того же фактора, какой столь резко и глубоко проявляется в климате, в законах распространения и изменения организмов, – заключается основная, оригинальная мысль Докучаева. В цикл давно узанных и обработанных с этой точки зрения природных явлений он ввел новую область, изменчивость которой в этом отношении почти совсем или даже совсем не признавалась.

Конечно, при исследовании и переработке давно указанных правильностей он, благодаря этому, получал новые точки зрения, вносил новые понимания в давно изведенные соотношения. Но не это представляется мне интересным и важным. Важны не изменения в понимании природы, которые открываются благодаря тому, что исследователь вносит новое, до него упущенное, звено в бесконечный по существу цикл явлений; этим только до известной степени меняется представление о гармоничности всех явлений, окружающих нас в природе, понимание целостности облекающего нас, на вид

¹ В. Докучаев. Зап. Сиб. Минерал. Общ. XXXVII. СПб., 1899, с. 139 сл. *Его же*. К учению о зонах природы. СПб., 1899, с. 6 сл., 16 сл.

столь разнообразного и разъединенного, мира явлений, такое чувство, ярко и глубоко сказывающееся в трудах всех великих натуралистов, в трудах Гумбольдта, Дарвина, Уоллеса, относится скорее к области понимания природы, чем к области научного ее исследования. С чисто научной точки зрения важно другое: важно резкое и смелое отнесение Докучаевым в область явлений, изменчивых с широтой и высотой местности, таких предметов, как почвы. Этим совершенно и окончательно, самым коренным образом изменилось понимание задач, предмета, области, приемов работы почвоведения.

В этой своеобразной и молодой области знания, которая входит как нечто целое, в цикл других геологических наук, был выдвинут Докучаевым в 1879 году географический фактор¹, который резко и навсегда отделяет ее от петрографии или динамической геологии, с которой она нередко неразрывно связывалась. Ибо фактор этот, столь же в ней существенный, как и в климатологии, играет подчиненную и неважную роль во всех вопросах петрографии или даже в большинстве явлений динамической геологии.

Почти сто лет назад Александр фон Гумбольдт окончательно ввел в научное сознание значение изучения с географической точки зрения климата и растений. Его трудами были положены основы столь разросшихся в наше время отраслей знания – климатологии и географии растений. В блестящих *Ansichten der Natur*, в 1804 году, Гумбольдт дал цельные картины взаимной связи с географическими элементами животного мира, характера человеческих племен, хода и особенностей их цивилизации. В отличие от ученых и философов XVIII века, непосредственным продолжателем которых он являлся и которые очень любили указывать на значение климата, как фактора, изменяющего все природные и даже общественные соотношения, Гумбольдт подошел к этим явлениям с точным мериллом и с научной критикой. Он точно графически отмечал на карте определенные числовые данные климатических элементов, области распространения растительных форм и их комплексов. Но среди природных явлений, изменчивых с климатом, глубоко связанных с широтой или высотой местности, Гумбольдт нашел один элемент, от них совершенно не зависящий, – это были горные породы земной коры, с которыми в то время тесно и неразрывно связывались почвы. Среди чужого организованного мира, чуждых растений и животных Нового Света, в совершенно новой обстановке тропиков, указывал он, наблюдатель находит неизменными все те же знакомые ему породы Старого Света, родного ему севера, те же граниты, известняки, песчаники, зеленокаменные породы².

Гумбольдт таким обобщением окончательно порвал с древней научной традицией, которая тянулась через все XVII и XVIII столетия. Исходя из старинных натурфилософских мечтаний и из плохо обобщенной практики алхимиков, давно уже в сознании исследователей ясно носилась мысль о значении широты местности для образования природных материальных тел. Ибо широта местности неразрывно связана с тепловыми элементами земной коры; а влияние на образование минеральных тел температуры давно бросалось

¹ См. В. Докучаев. Картография русских почв. СПб., 1879, с. 90 сл.

² А. Humboldt. Essai sur la géographie des plantes. P., 1807, p. 115 сл. *Его же*. Essai géognostique sur le gisement des roches dans les deux hemisphères. 2 ed. P., 1826, p. 3 сл. *Его же*. Kosmos. St. 1845. I, p. 9 (Cotta).

в глаза. В это время думали, что на холодном Севере зарождаются богатые руды железа, а в горячих странах Экватора рождаются драгоценные камни и металлы, в Индии и Бразилии – алмазы и золото.

Различные натурфилософские спекуляции из области донныне не существующей науки – географии минералов – проникают в XVIII столетие; с ними считается Бюффон, осторожно борются энциклопедисты. Но понемногу, к концу столетия, с развитием точного знания, эти спекуляции замирают. Гумбольдт только завершает вековую работу мысли, совершенно исключая влияние географических факторов на минералогический и химический состав твердой земной коры. Однако он все же и здесь искал географических соотношений, но находил их не там, где мы, а видел их проявления в тектонике слоев, законно связанных, по его мнению, с географической широтой и длиной местности¹. И несмотря на то, что он имел случай научно наблюдать как черноземы России, так и латериты (красноземы) тропиков, почвы различных стран света, резко отличных типов, – он не видел тех явлений, которые кажутся нам теперь столь ясными и резкими и уже входят в обычные учебники.

Идеи Гумбольдта об отсутствии зависимости твердых продуктов нашей земной коры от географических факторов по сравнению со столь резко и глубоко указанными им изменениями, каким подвергается с широтой и высотой местности атмосфера или покрывающий Землю организованный мир, вполне господствовали до самого последнего времени².

Трудно сказать, когда эти идеи Гумбольдта, развитые и подтвержденные дальнейшей эволюцией геологии, встретились с первыми возражениями. Они впервые явились одновременно в двух областях знания – в минералогии и в учении о почвах.

В минералогии уже современники Гумбольдта обратили внимание на связь явлений выветривания и продуктов, происходящих от разложения организмов, с географическими факторами. Распределение торфа, как показали Гундесгаген, Буссенго³ и Лекере⁴, тесно связано с условиями разложения органического вещества в зависимости от климата; та же связь наблюдается и при образовании селитр (Буссенго). В замечательных работах Домейки географический принцип был распространен и на процессы выветривания и даже заполнения минеральных жил, причем Домейко указывал на своеобразный характер жильных выделений Южной Америки по сравнению с такими же минералами Старого Света⁵. Но, несмотря на множество аналогичных наблюдений, география минералов и доселе не получила научного выражения, и факты эти не вошли в научное сознание.

¹ *A. Humboldt. Essai géognost. P., 1826, p. 4, 53 сл.*

² Лишь иногда, не обобщая явлений, он как точный наблюдатель не мог не констатировать влияния климатических факторов на характер горных пород. См. *A. Humboldt. Fragments de géologie et de climatologie. II. P., 1831, p. 497 сл.*

³ Для Буссенго – ср. *Mayer. Die Bodenkunde. Aufl. Heid. 1895, p. 66.* Для Гундесгагена см. *Наблюд.* Сельск. Хоз. и Лесов. 1902, II, с. 491.

⁴ Замечательная работа Лекере по-французски вышла в 1843 году. См. *L. Lesquereux. Unters. üb die Torfmoore. Her. von A. v. Lengerle B., 1847, p. 204 сл.*

⁵ См. сводку его идей (высказывались в 1840-х годах). – *Domeyko. Mineralogia. Sant. 1879–1883.*

Совершенно другое было с почвами. Связь процесса выветривания и разложения органического вещества с климатическими факторами здесь бросалась в глаза. Уже в первой половине XIX века мы находим у отдельных исследователей (например, у Шпренгеля) более или менее ясные указания на зависимость тех или иных почвенных типов от климата, на существование особых вопросов географии почв. Но эти идеи в течение десятков лет не нашли себе последователей, бесплодно потухли после своего мимолетного выражения и ничем не отразились в научных работах даже тех самых ученых, у которых находят подходящие цитаты. Может быть, наиболее ясно современные воззрения о связи почв с географическими факторами сказались в предположениях о происхождении тех или иных почвенных типов в тесной связи с генезисом торфа и процессами, наблюдаемыми в болотах. Эти идеи появлялись в разных странах независимо друг от друга, но затем они не обобщались, и неизбежные их следствия ускользали от внимания современников. Простая, как нам теперь кажется, работа синтеза не была сделана, и связь их с другими научными данными не была признана. Уже в начале XIX века некоторые американские натуралисты, напр[имер], Атуотер и Берн (1819–1820) высказывали мнение, что черные почвы американских прерий происходят из болот, аналогично торфяникам, в тесной связи с особенностями климата. Эти идеи, ими высказанные вскользь, были развиты в 1850–1860 годах Лекере, который не только расширил их, но и развил, приведя в связь все аналогичные почвы степей умеренного пояса как в Старом, так и в Новом Свете. Несмотря на то, что Лекере дважды напечатал свою работу – она прошла незамеченной, по крайней мере в этой части своей¹. Почти одновременно та же идея развивалась или высказывалась для русского чернозема. Намеки на нее мы находим уже в конце XVIII века у Гюльденштедта²; позже к ней склонялся Герман³, развивал Эйхвальд⁴ и особенно в 1852 году Борисьяк⁵. Наконец в 1837 году те же идеи о генезисе черной почвы Индии – так называемого регура – были в ясной форме изложены Ньюбольдом⁶. Более тщательное изучение вопроса, вероятно, укажет нам других забытых представителей тех же взглядов. Для них должно было быть ясно влияние климата, рельефа и т.п. географических факторов на характер твердой покрывки земного шара; но они все, кроме, может быть, Лекере, применяли эту идею только для данного частного случая, не видели ее общего значения. Все они делали гипотезы, но не давали точных, ярко выраженных фактов и наблюдений, с которыми неизбежно пришлось бы считаться.

¹ Современники обратили внимание на работы Лекере по вопросу о причинах безлесия прерий. Этот вопрос вызвал тогда же (в 1865–1866 годах) большую литературу. Работа Лекере была сперва напечатана в 1856 году в *Bulletin de la Societe des Sc. Nat. Neuchatel* и развита и перепечатана в 1865 году в *American Journal of Science* (1865, vol. 39, p. 317 и vol. 40, p. 23 сл.). Работы *Atwaier* и *Bourne* (В: Amer. Journ. of Sc. 1819–1820, vol. 1–2) были мне недоступны, и я знаю их по указанию Lesquereux.

² В. Докучаев. Рус. черноз. СПб., 1883, с. 295, 287.

³ И. Герман. Земледель[еский] Журнал. М, 1837, № 1, с. 48.

⁴ В. Докучаев. Рус[ский] черноз. СПб., 1883, с. 295, 287.

⁵ Н. Борисьяк. О черноземе. Харьк[ов], 1852, с. 62 сл.

⁶ *Newbold*. Proceed. R. Soc. 1838. Ср. *его же*. Journ. of Asiat. Soc. of Bengal. № 154. Calc. 1844, p. 990.

Первое точное опровержение идей Гумбольдта, – хотя не признанное и не высказанное, но вполне обоснованное и уже не потерявшееся в научном обмене, было, кажется мне, сделано в России, в связи с изучением русских почв и главным образом чернозема, который в истории почвоведения сыграл такую же выдающуюся роль, какую имели лягушка в истории физиологии, кальцит в кристаллографии, бензол в органической химии.

Еще великие русские путешественники Екатерининского времени отметили на огромных пространствах Европейской и Азиатской России особую почву, резко отличную по характеру растительности и по своим свойствам от других почв нашей страны и Западной Европы – чернозем. Они могли проследить довольно точно ее границы, и существование таких границ было уже в общих чертах известно к концу XVIII столетия, а в 1842 году эти границы были впервые выражены бар. А.К. Мейендорфом и П. Зиновьевым на карте промышленности Европейской России.

Когда в эпоху управления министерством государственных имуществ гр. Кисилевым в 1838 году была сделана, кончившаяся неудачей и вызвавшая напрасные затраты, попытка кадастровых работ, в связи с ними министерством по всей России были произведены опросы о свойствах почв¹. Эти вопросы о почвах и послужили первым научным материалом, неожиданно приведшим к крушению идей Гумбольдта.

С точки зрения русской государственной практики министерство не делало ничего нового. Оно бессознательно продолжало исконные оценочные приемы, вызванные своеобразными естественно-историческими и территориальными условиями нашей земледельческой страны. Так, еще в оценочных работах Московского государства принималось во внимание качество почв² и с ним же считались при собирании статистических сведений в Российской империи в XVIII веке³. Но в работе кадастра XIX века эти приемы были сведены к новой форме, и для их улучшения были приняты во внимание схемы единственного западноевропейского кадастра, в котором играло роль качество почвы, – кадастра Саксонии (1833 сл.)⁴. Здесь была произведена довольно сложная попытка естественной классификации почв. Однако, в то время как в маленьком государстве, на небольшом участке земной коры, скрылись характерные черты целого, в России нанесение на карту тех же, по существу грубых, данных на огромном пространстве сразу выставило на вид закономерность географии почв.

Эта закономерность была уже выражена на первой почвенной карте России, составленной на основании этих сведений К. Веселовским в 1849 г.; в 1851 году карта была выпущена в свет. Она не задавалась никакими научными задачами, она давала лишь удобное географическое выражение многочисленным опросным сведениям хозяев, исправленным согласно с споради-

¹ Об этих вопросах и об истории почвенных карт в России вообще см. *В. Докучаев*. Картография русских почв. СПб., 1879. *Его же*. Главные моменты в оценке земель Евр. России. СПб., 1886.

² *В. Докучаев*. Гл[авные] моменты etc. СПб., 1886, с. 4.

³ *И. Вернадский*. Историч[еский] очерк практической статистики. М., 1855, с. 44–45 (в сборнике «Воспоминание 12 января 1855 года»).

⁴ О саксонском кадастре см. *Ф. Горб-Ромашкевич*. Поземельный кадастр П. Варш[ава], 1900, с. 273 сл., 338 сл., о его влиянии в России ib с. 281. *И. Вернадский* 1. с.

ческими указаниями ученых исследователей¹. А между тем, в действительности, она впервые дала ясные факты, резко противоречащие господствующим научным взглядам.

На карте Веселовского ясно изменение почв, аналогичное изменению климатических данных или распространению других естественных тел в связи с географическими условиями. Новые картографические обработки все того же материала – коллективного опыта населения, столь важной в истории науки работы мысли народных масс, все резче выставляли географический характер почвенных типов. Постепенно карты перерабатывались и улучшались; на них наносились новые опросные сведения и указания ученых.

К концу 1870-х годов весь материал был вновь переработан и собран в колоссальном труде В.И. Чаславского (1879)², данные которого, измененные и исправленные научной работой Докучаева и более молодых русских почвоведов (Н.М. Сибирцева, Танфильева, Ферхмина и др.), легли в конце концов в основание современной почвенной карты Европейской России (1901)³, не имеющей себе равной в научной литературе по точности работы и по величине захваченной в исследование площади.

Наиболее резко своеобразный характер изменения почвы в связи с географическими факторами проявлялся на этих картах на черноземе. Аналогичные черты в условиях распространения тропических и подтропических почв, указанные еще в самом начале XIX века Бёкананом (в 1807 г.)⁴, остались совершенно неизвестными ученым и вошли в научный обиход только после работы Рихтгофена и англо-индийских геологов. Поэтому в середине XIX века казалось, что приуроченность почвы к определенным местностям, географический характер ее распространения подмечены были только в одном этом случае и в одном месте на земном шаре, в пределах Европейской России. При таком взгляде было возможно придавать этому случаю специальное объяснение геологического характера.

И уже Мурчисон в начале 1840-х годов пытался объяснить чернозем, в отличие от других почв, как продукт отложения вод, недавно покрывавших юг России. Границы этого гипотетического бассейна выражались в границе чернозема. Этим объяснялись все особенности его нахождения и его свойств по сравнению с другими почвами⁵.

В 1866 г. в замечательной работе Рупрехта⁶ была доказана невозможность образования чернозема, как водного остатка, была восстановлена исконная народная гипотеза его происхождения, излагавшаяся еще в середине

¹ Это была одна из первых почвенных карт. На Западе чисто почвенные (не геологически почвенные) карты появились в 1850–60 гг. См. *Н. Сибирцев* Почвоведение, вып. III. СПб., 1901, с. 158.

² О Чаславском см. *В. Докучаев*. Тр. В[ольного] Эк[ономич.] Общ. 1882, I. 434.

³ *В. Докучаев, Н. Сибирцев, А. Ферхмин, Г. Танфильев*. Почвен[ная] карта Европ[ейской] России. СПб., 1900 (sic). О ней: *А. Ферхмин, Г. Танфильев*. Краткий объясн[ительный] текст к почв[енной] карте. СПб., 1902.

⁴ Работа Беканана была мне недоступна. О ней см. Du Bois. Miner. Pelogr. Mittheil. W., 1903. XXII, p. 6; *O.F. Buskanaan-Hamilton'n* (1762–1829) см. *J. Brittena, G. Boulger*. A biograph. inoex of British botanists. L., 1893, p. 76; *G. King*. Rep. of Brit. Association 1899 (Dover.), p. 906–907.

⁵ *Р. Мурчисон*. Журн. Мин. Госуд. Им., 1843, № 3, с. 140 сл. (по англ. в 1842 в Journ. of Agric. Soc.). *Его же*. Geology of Russia. L., 1845.

⁶ *Ф. Рупрехт*. Геоботанические исслед[ования] о черноземе. СПб., 1866, с. 6.

XVIII столетия Ломоносовым¹, и позже учеными академиками Петербургской академии наук², не раз высказываемая вскользь в научной литературе XIX века; это было общее мнение местных сельских хозяев, всегда допускавших, что чернозем есть продукт гниения наземной растительности³.

Однако Рупрехт все еще не мог объяснить резкую северную и южную границы чернозема, отсутствие его вне тесной и определенной области. Он должен был признать для этого существование особых геологических условий: чернозем, по его мнению, представляет поверхностное образование древней суши, о которую разбивались волны северного моря, несшие ледяные горы-падуны в дилювиальное время. Резкая северная граница его есть граница этого древнего континента и создана обычной деятельностью геологических агентов. Чернозем не мог образоваться на юге России, где не наблюдается для него резкой границы и где он постепенно переходит в другие почвы, покрывающие новейшие геологические отложения. Почвы юга России, по мнению Рупрехта, еще не успели накопить гумус и образовать чернозем, благодаря своей молодости; для накопления гумуса необходимы долгие века неизменных климатических условий, благоприятных развитию растительности.

III

Так стоял вопрос о границах чернозема, когда в 1877 г. к его решению подошел относительно молодой еще в то время геолог В.В. Докучаев.

Медленно и долго он выбивался из тяжелых материальных условий. Сын священника Сычевского уезда, Смоленской губернии, Докучаев шел вперед со страшной борьбой, в тяжелой нужде, подорвавшей в конце концов его могучий организм. Научно он работал в это время главным образом в области динамической геологии и новейших образований. Весь уклад его мысли находился под сильным влиянием того общественного интереса к естествознанию, которое характеризует 1860-е годы.

Под влиянием этого общественного возбуждения, когда интерес к естествознанию оказался тесно связанным с этическими и общественными запросами, в России в 1870-х годах наблюдается блестящий расцвет научной деятельности, почти во всех областях естествознания. Здесь не место и нет возможности касаться той научной среды, в которой в 1870-х годах в Петербурге развивалась мысль Докучаева; но в истории геологии работы людей, собравшихся в то время в Петербурге, не будут пройдены молчанием. Достаточно вспомнить совершенно выдающиеся по самостоятельности и глубине мысли работы кн. П.А. Кропоткина в связи с ледниковым периодом, – работы, оказавшие в конце концов решающее влияние на весь ход мысли Докучаева в этой области явлений и определившие его научные интересы.

¹ В. Вернадский. О значении трудов М. В. Ломоносова в минералогии и геологии в Ломоносовском Сборнике. М., 1900, с. 27. П. Отоцкий. Почвоведение, 1900, № 4, с. 327.

² В. Докучаев. Русск[ий] чернозем. СПб., 1883, с. 285 сл.

³ Рупрехт (1. с.) указывает на Гюю в 1840-х гг. Об аналогичных идеях проф. Шмальца (1935) см. А. Ярилов. Почвоведение. V. СПб., 1903, с. 52 сл., Гермманна (1836) и др. В. Докучаев. Рус[ский] чернозем. СПб., 883, с. 295, сл., Борисяк (О черноземе. X. 1852, с. 46) говорит об этих идеях, как об обычном мнении народа, и с ним полемизирует. Также полемизирует с аналог. идеями бар. Мейендорфа-Мурчисона (Мурчисон I. с. 1843, с. 130).

Привыкши к точному и внимательному наблюдению поверхностных отложений и рельефа, в связи с этими идеями, он перенес в новую для него область почв те же приемы исследования, какие выработались у него в многолетней полевой геологической работе над новейшими отложениями России. По складу своего ума Докучаев был одарен совершенно исключительной пластичностью воображения; по немногим деталям пейзажа он схватывал и рисовал целое в необычайно блестящей и ясной форме.

Каждый, кто имел случай начинать свои наблюдения в поле под его руководством, несомненно испытывал то же самое чувство удивления, какое помню и я, когда под его объяснениями мертвый и молчаливый рельеф вдруг оживлялся и давал многочисленные и ясные указания на генезис и на характер геологических процессов, совершающихся и скрытых в его глубинах.

В течение нескольких лет Докучаев изрезал черноземные области по разным направлениям и в результате этих работ в 1883 году окончательно выдвинул теорию сухопутного образования чернозема, зарождение его разложением степной травянистой растительности под влиянием ныне действующих агентов, среди которых видное место он отвел климатическому фактору¹. Подвергнув чернозем химическому разложению, он впервые указал на изменение химического состава этого тела в тесной зависимости от тех же географических факторов. По мере движения на северо-восток количество органических веществ чернозема заметно и правильно увеличивается, аналогично ходу климатических кривых, главным образом изотерм (изогумусовые полосы Докучаева)².

Всякие местные геологические объяснения южной и северной границы чернозема сами собой отпали. Констатирован был прочно установленный факт, резко противоречащий господствующим идеям Гумбольдта.

На распространении и генезисе твердых продуктов земной коры можно было ясно наблюдать географические законы; к ранее существовавшим областям географии растений или животных, климатологии, должна была быть прибавлена новая глава – география почв.

Этот вывод был сделан постепенно; но он тогда же был высказан ясно, вполне понимался как самим Докучаевым, так и в том кружке молодых начинающих ученых, которые группировались вокруг него в начале 1880-х годов.

Любопытно, что в то же время, совершенно независимо от Докучаева, те же идеи – в общих чертах – высказаны были и ныне живым немецким ученым фон Рихтгофеном. Рихтгофен в географии в известной степени явился продолжателем Гумбольдта, подобно ему, он соединял эрудицию и точный научный анализ с широким личным наблюдением природы при самых разнообразных условиях. В многолетних географических и геологических работах в Старом и Новом Свете Рихтгофен мог ясно убедиться в чрезвычайной зависимости продуктов выветривания от климата. Наблюдая почвы разных климатов, разных широт и высот, в конце концов он пришел к убеждению в изменчивости, в связи с географическими элементами, верхней покрывки земной коры,

¹ Насколько эти идеи тогда были новыми, видно, например, из возражений проф. *П. Костычева*. Почвы черноземной области России. I. СПб., 1886, с. 95 сл.

² *В. Докучаев*. Русск[ий] чернозем. СПб., 1883, с. 282.

в возможности географии почв, даже больше – географии поверхностных отложений земной коры. Такие идеи более или менее ясно высказывались им в разных работах, и наконец в 1886 году в *Führer f. d. Forschungsreisende* Рихтгофен дал полный обзор почв земного шара; в блестящих, полных до сих пор современного интереса, страницах он указал на зональный тип их распространения и генезиса¹.

Но эти идеи Рихтгофена не сразу обратили на себя внимание; они долго лежали в стороне от обычных путей научного развития. Лишь в последние годы из них исходили некоторые исследователи почв тропических и подтропических стран.

Другое было с идеями Докучаева. Он сумел собрать вокруг себя живую и горячую группу молодежи, вызвать интерес к работам в соприкасающихся областях знания, найти средства, нужные для систематических работ в новом направлении. Эти средства – десятки тысяч рублей – он нашел в русском обществе. Он привлек к почвенным работам внимание общественных сил – Вольного Экономического Общества и земств.

Быстро разрослась под его влиянием русская литература почвоведения, появилось много отдельных работ, оказалось возможным начать периодические издания, посвященные почвам, сперва «Материалы к познанию русских почв», потом «Труды почвенной комиссии» и наконец «Почвоведение». Под его руководством появились специальные почвенные карты и [были] изучены почвы Нижегородской и Полтавской губерний, под его влиянием вышла новая научная почвенная карта всей Европейской России. Наконец, выработались зональная географическая и почвенная классификации, охватившие земной шар, – в трудах Докучаева и независимо от него тоже покойного теперь проф. Н.М. Сибирцева.

Ныне те же самые идеи, в связи с развитием взглядов Рихтгофена, с каждым годом все больше и больше захватывают научную литературу Запада и Америки. И в этом движении труды почвенной школы Докучаева стоят на видном месте, идут впереди научного движения.

IV

В тесной связи с развитием идей по географии почв развивались и воззрения Докучаева на почвы. Он рассматривал их как естественные тела, как особого рода образования, которые могли быть поставлены, с точки зрения логического анализа, наряду с минералами, горными породами, организмами. Понятно поэтому, что отрасль знания, занимающаяся почвами, с удобством могла быть выделена в особую науку – почвоведение.

Но такая наука не сразу получила признание. Еще до сих пор слышны скептические голоса, относящие ее то к геологии, то к земледельческой химии, отрицающие за почвоведением право на самостоятельное существование.

Немного найдется вопросов логики и теории познания, которые бы так горячо и страстно обсуждались в среде точных естествоиспытателей, как вопросы о классификации наук, о том, представляет или нет та или иная область явлений самостоятельную науку.

¹ *F. v. Richthofen. Führer. d. Forschungsreisende. L., 1886, p. 451 сл.*

Эти споры не имеют никакого реального научного основания. Историк научной мысли может и должен видеть в них только влияние проникновения – иногда бессознательного – философского мышления в научную среду. В результате такой философской мысли, в тесной связи с ее глубиной, с большей или меньшей философской образованностью, возникают разнообразные классификации наук и их понимания. Нигде так ярко не отражается неизбежное проникновение философских построений в научное сознание, как в этих спорах и в том интересе, который возбуждается в естествоиспытателе такими вопросами. Но нигде мы и не наблюдаем такого количества шатких и легких как карточные домики построений, как в таких экскурсиях натуралистов в эту чуждую им область, ибо редко когда они в состоянии считаться с царящей здесь средой понятий, созданных глубокой вековой работой философии.

Наши современные науки ограничили и образовались в научном сознании путем длинного и сложного исторического процесса, носят на себе явные следы наслоений разного характера и различных исторических эпох. Границы между ними и их количество не представляют ничего неподвижного – наоборот, они постоянно дробятся и создаются вечным движением научного создания.

Само собой ясно, что, в зависимости от тех или иных основных посылок, можно делить и классифицировать материал точного знания на множество самых разнообразных взаимопротиворечащих способов. Как во всяком вопросе философского характера, здесь нет единого, бесспорного, общеобязательного решения.

С научной точки зрения гораздо важнее другое отношение к созидаемым научным дисциплинам, важнее та своеобразная форма специализации, которая давно охватила и стала обычной в науках гуманитарного характера. Ею создалось совершенно иное, чем в естествознании, гораздо более реальное, менее философское, отношение к понятию о науке. Область знания, по тем или иным причинам вызвавшая к себе особый интерес, требующая долгого ознакомления с обширной специальной литературой, трудной и медленной предварительной подготовки, обладающая специальными своеобразными методами или приемами работы, выделяется здесь в особую науку. В этой науке создаются специалисты, она получает особое название.

В таком положении давно находится наука о почвах, или, как ее иногда называют, педология. «Правильно» или «неправильно» – по заслугам или нет – эта область знания обладает такой огромной литературой, таким своеобразием методов работы, таким ясно очерченным полем исследования, что давно образовала специалистов, которые ставят целью своей научной деятельности исключительное изучение вопросов, касающихся почв. Для точного исследователя природы не может быть и сомнения, что она стала наукой, точно так же и на тех же реальных основаниях, на каких выросли и получили право на существование другие более старые научные дисциплины, благодаря привычке не возбуждающие ни в ком никаких сомнений.

Для естественных наук однако важно не одно только выделение новой научной дисциплины, важно признание этого факта в общем сознании. Только оно дает необходимые средства для создания незаменимых орудий научного прогресса, лабораторий и музеев. Такие учреждения служат центрами, обеспечивающими непрерывно развитие науки, создают возможность научных

традиций и школ. В истории каждой науки создание лабораторий или специальных музеев, основание особых ей посвященных кафедр в университетах или высших технических школах является важным историческим моментом, надолго определяющим ее дальнейшее развитие.

Для почвоведения эти крупные шаги были впервые сделаны у нас в России. Заслуга эта всецело лежит на В.В. Докучаеве. Его усилиями и настойчивой энергичной работой была учреждена первая кафедра почвоведения в институте сельского хозяйства Новой-Александрии и создан первый специальный почвенный музей при Вольном экономическом обществе в Петербурге, в основу которого были положены собранные им коллекции¹. Только болезнь не дала ему возможности развить эти первые начинания, расширить эту организаторскую работу. От него остался лишь целый полный план, ожидающий осуществления.

V

В основу такой организаторской работы Докучаева легла его идея о том, что почва есть особое естественное тело, которое резко отличается и должно быть отделено от горной породы, с которой она долго смешивалась².

В 1870-х годах такие мысли казались научной ересью. Однако они не раз и раньше высказывались в течение первой половины XIX в., но быстро забывались и исчезали из обращения. Среди крупных предшественников этих идей нельзя не вспомнить теперь работ немецкого ученого К. Шпренгеля, точного и самостоятельного ученого, развившего аналогичные воззрения в 1820–1840-х годах. В свое время труды Шпренгеля не прошли бесследно, но они далеко не оказали всего должного влияния на современников. Больше того: после развития земледельческой химии под влиянием Либиха, одним из прямых предшественников которого был тот же Шпренгель, взгляды Шпренгеля казались устарелыми и неверными, и в учении о химическом составе почв начали почти безраздельно царить теоретические и химические схемы, выведенные на основании валового химического анализа, далекие от действительности. В 1870-х годах самое имя Шпренгеля почти исчезло из научного обращения³.

Докучаев в первых же своих работах ясно и точно выставил это положение и неуклонно повторял его, более или менее развивая, всю свою жизнь. Он называл почвой сложное тело, которое является результатом взаимодействия между климатом, подстилающей горной породой, организованным миром,

¹ Почвенные собрания, очень многочисленные на западе, приурочены к музеям геологическим или агрономическим. Среди них, по научному интересу очень выделяется почвенный отдел геологического музея в Будапеште. О почвенных музеях, см. *А. Ярилов*. Земледелие. М., 1903, № 2–3, с. 91 сл.

² *В. Докучаев*. Картография русских почв. СПб., 1879, с. 90 сл. и дальше во всех работах.

³ *О.К. Шпренгель (1787–1859)* см. *Fraas*. *Gesch. d. Landwirthschaft*. Prag. 1852, p. 194 сл. *Его же*. *Gesch. d. Landbaukunde*. М., 1865, p. 245 сл. *Либих*. Химия в приложении к земледелию, перев. Ильенкова. СПб., 1864, с. 14. *А. Kohut. J.v. Liebig*. Giess. 1904, p. 154. *Набоких*. Сельск. Хоз. и Лес., 1902. II. 258 сл. Значение Шпренгеля в почвоведении до сих пор не оценено и работы его во многом выше его времени. Из относящихся к данному вопросу особенно интересны прекрасные статьи его по минералогии почв в *Erdmann's Journal f. tech. u. ökonom. Chemie* за 1828, т. II–III и его *Bodenkunde*. L., 1837, p. 114 сл. (Второе издание 1844 года было мне недоступно).

в ней и на ней живущим, рельефом местности. Он указывал, что своеобразное тело, которое при этом получается, ни в каком случае не может быть рассматриваемо как механически-рыхлая, измененная верхняя часть подстилающей почву горной породы.

Эта идея только медленно и постепенно входила в общее сознание, встретила множество возражений. Как логическое определение всякого сложного естественного явления, она, конечно, не может целиком его охватывать. Тесно связаны с ней многие неясности и неопределенности. Так, неясно, где надо проводить нижнюю границу почвы, неясно развитие между почвами и рыхлыми продуктами некоторых химических выветриваний на земном шаре. Но такие неясности не исчезают и при отнесении почв к горным породам: наоборот, они увеличиваются в числе, становятся более резкими, менее решимыми.

В то время когда эти идеи высказывались, они не могли быть даже точно доказаны, ибо многие вспомогательные научные понятия не были выработаны или созданы современниками. С тех пор прошло 20 лет – большой период в истории естествознания. Прошло достаточно времени для оценки новых идей, должно было выясниться, противоречат ли они добываемым научным выводам или вполне им отвечают.

Для решения этого вопроса особенно важно развитие, какое получила в последние годы минералогия, отрасль знания, занимающаяся изучением химических процессов и продуктов нашей планеты. Эта наука, благодаря успехам химии и широкому развитию своеобразного наблюдательного метода, ей исключительно свойственного (так называемого парагенетического), находится в настоящее время в периоде усиленного роста и изменения. Мне кажется, что она представляет теперь достаточно данных для полной оценки педологических идей Докучаева, высказанных им еще к концу 1870-х годов.

Для познания почв необходимо тщательно и точно изучить их минералогическую, т.е. узнать свойства, генезис и изменения минералов, их составляющих. Эти минералы оказываются резко отличными, можно сказать, совсем чуждыми тем горным породам, с которыми невольно консерватизм научной мысли соединяет почвы.

В почвоведении после блестящих работ Либиха окончательно утвердилось сознание важности познания химического состава почв. Значение неорганических составных частей почв для питания растений, значение калия и фосфора, вошло в плоть и кровь, в сознание не только ученых, но и практиков, сельских хозяев. Оно вызвало массу разнообразных химических анализов почв, и только сравнив данные о химическом составе их, которые были в распоряжении науки в долибиховский период, в 1830-х годах, когда появилась первая сводка Шпренгеля, с тем материалом, который накоплен многолетней работой исследователей, можно понять колоссальную работу, произведенную в химических лабораториях.

Однако мы имеем здесь только данные валового анализа; все рассуждения на этом основании, о химическом составе почв так же неверны, проблематичны и схематичны, как были ими наши знания о химических свойствах и составе горных пород до тех пор, пока оказалось возможным непосредственно определять в них составляющие их минералы. И можно было соединять почвы в одно целое с горными породами только до тех пор, пока у нас

не было никаких указаний на характер минералов, входящих в состав почв, и нельзя было сравнивать их с хорошо изученными породообразующими минералами.

Среди господствующих в горных породах минералов подавляющим образом преобладают своеобразные твердые растворы – изоморфные смеси или их комплексы. Даже в породах, состоящих из рыхлых продуктов выветривания, то есть разрушения пород под влиянием атмосферных деятелей, составляющие их минералы находятся в определенном, довольно простом, отношении к этим твердым растворам.

Совершенно другое представляют из себя минералы, сосредоточенные в почвах. Мы находим здесь новые минеральные образования, редкие или неизвестные в горных породах. Изоморфные смеси отходят на второй план или являются механическим и неважным в химии почв приложением. На первое место выступают своеобразные сложные системы, тоже, может быть, близкие к твердым растворам, но совершенно иного, чем изоморфные смеси, характера. В простых случаях, для алюмосиликатов, эти тела очень близки к тем твердым диссоциационным системам, какими среди обычных минералов являются цеолиты. Эти минералы почв едва начинают быть нам точно известными, немногие из них мы умеем выделять в свободном состоянии. И однако мы можем утверждать в настоящее время с полной уверенностью, что в составе почв, в их химии, преобладающую роль играют такие классы минерального царства, которые совсем почти неизвестны в составе и процессах горных пород.

Эти твердые продукты находятся в почве в особом физическом состоянии. Они проникнуты разнообразными газами и находятся в постоянном теснейшем обмене с окружающей газообразной средой. Временами они образуют теснейшие смеси, легко разлагаемые соединения с водой. Они постоянно облекаются и перерабатываются живым организованным веществом, тесно смешаны с продуктами его замирания и его жизнедеятельности.

В то время как горная порода представляет нечто неподвижное, мало изменчивое в короткий промежуток времени, – почва есть все время меняющееся тело, которое мы исследуем уже в мертвом, вполне чуждом состоянии, когда берем кусок ее в нашу лабораторию или почвенную коллекцию.

В каждой почве мы должны более или менее резко различать две разные составные части: 1) инертный, мало имеющий значения своим составом в химии почв, скелет их¹ и 2) наиболее характерную составную часть их, вечно изменчивую, так или иначе связанную со своеобразными соединениями углерода, может быть также с кремне-глиноземистыми комплексами. В скелете почв мы нередко встречаем обычные нам и в породах минеральные тела (напр[имер], кварц), но как только мы переходим к наиболее характерной химической составной части почвы, мы сразу вступаем в новую область, совершенно чуждую и невиданную в горных породах земли.

¹ Химическое значение «скелета» почв, состоящего нередко из соединений крайне стойких (например, из SiO_2 в форме кварца), обыкновенно очень велико, так как благодаря тонкой раздробленности, в которой он находится, он могущественным образом влияет на химические реакции в почвах, в то же время не участвуя в них непосредственно своим составом. Здесь мы имеем явления, пограничные между химическими и физическими.

Нельзя сказать, что мы не имели в природе других аналогичных образований. Таковы, напр[имер], любопытные, мало изученные комплексы, которые составляют дно океана, – морскую грязь – и которые так же мало могут быть названы горными породами, как и почвы. Тут тоже образуются особые подвижные минеральные системы, иного, исключительно им свойственного, химического характера. Эти минералы существуют и сохраняются только до тех пор, пока они поддерживаются в определенных условиях их образования, переходят в новые, чуждые морской грязи устойчивые формы, как только будут выведены из своей среды. Напрасно стали бы мы их искать в горных породах, хотя бы тех, которые произошли из морских осадков. В них мы находим лишь новые минеральные тела, образовавшиеся иными химическими реакциями, получившими место, когда прекратились условия, поддерживавшие существование подвижных химических соединений океанического дна. Почва и морская грязь покрывают весь земной шар, все горные породы, но в отличие от последних как в их распространении, так и в их составе резко сказываются географические факторы земного шара.

VI

Жизненность и важность идей познается только долгим опытом. Значение творческой работы ученого определяется временем. При применении этих строгих, нелицеприятных мерил к основным идеям, регулировавшим научную работу В.В. Докучаева, оказывается, что они находятся в полном согласии с новыми научными веяниями, идут в одном темпе с научным движением нашего времени. Такая судьба выпадает на долю немногим избранныкам среди многого множества крупных и мелких ученых деятелей.

Позволю себе в заключение сказать несколько слов о личности В.В. Докучаева. Это был тип, который нередко выдвигался в русской истории из народной среды. Энергичный работник, он умел хотеть и умел достигать своей цели путем личного колоссального труда и путем организации работы других.

Он не подходил к рамкам, выработанным нашим обезличенным обществом; нередко его резкая натура входила в столкновение с окружающей обстановкой. Как люди сильной воли, он слишком подавлял многих, имевших с ним дело. Но хотя с ним можно было во многом не соглашаться, многое могло в нем шокировать, ко многому в нем можно было относиться отрицательно, но одного нельзя было никогда у него отнять: умения группировать вокруг себя учеников, будить и возбуждать научную мысль, организовывать коллективную работу; нельзя было отрицать в нем постоянного стремления работать для общественных, а не личных задач.

В личных отношениях он представлял во многом человека, прошедшего тяжелую школу нужды, выбившегося своим горбом и трудом. И он никогда не скрывал этого. Суровый, резкий и требовательный, он был таким не только к другим, но и к себе. Но в то же время он являлся очень искренним во всех своих начинаниях; умел выслушивать правду или правильно относиться к резким отзывам близких ему людей, своих учеников. Этим объясняется то, что при всей властности своего характера он сохранял неразрывными близкие связи с людьми, которые открыто и во многом с ним не соглашались.

Последние годы его были ужасны. Незаметно и медленно подтачивавшая его болезнь давно уже не раз, как мы теперь видим, исподволь проявлялась в его отдельных поступках, казавшихся непонятными и необъяснимыми всем ближе его знавшим. Это были первые ее непонятые предвестники. Наконец, она охватила его все больше и больше, сделалась явной и в конце концов он медленно замирал при полной потере сознания, в мучительной, тяжелой нравственной обстановке, созданной его больным воображением.

И все же, несмотря на такую трагическую судьбу, его жизнь не прошла бесследно ни для науки, ни для русского государства и общества. И в этом самом для него дорогом он нашел бы для себя удовлетворение, если бы мог теперь охватить и оценить свою жизнь.

Декабрь 1903 г.

СТАТЬИ ПО БИОГЕОХИМИИ

ЗАПИСКА ОБ ИЗУЧЕНИИ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА С ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ*

Как известно Академии наук, последние годá, с 1917 года, главной моей научной работой явилось изучение организмов – живого вещества – с геохимической точки зрения. В бытность мою на юге России мне удалось значительно подвинуть мою работу, как сводку и обработку всего накопленного в литературе материала, так и выработку методов исследования и постановку некоторых определенных задач, с общим вопросом о живом веществе связанных. В результате этих работ у меня образовалось две больших рукописи, одна написанная в Киеве и Полтаве, а другая в Крыму, которые мне удалось получить здесь и обработкой и сводкой которых я теперь усердно занимаюсь. По моему заявлению, поданному еще в 1918 году в Академию наук, работа эта принята для печатания Академией.

Но при этой работе выяснилось, что имеющийся, разбросанный и никем никогда не собиравшийся и не охватывавшийся общей мыслью огромный материал наблюдений и опытов в этой области, накопленный с XVIII столетия, все-таки недостаточен, и требуется немедленная постановка – в достаточном масштабе – опытного изучения этих явлений. С этой целью в 1918 году в Киеве, при широком содействии Украинской академии наук, мною были начаты работы в двух направлениях, которые велись несмотря ни на какие препятствия, хотя не могли развернуться в нужной мере. С одной стороны, при содействии проф. *Н.Г. Холодного* в [Киевском] Университете св. Владимира, я поставил опыт над выяснением вопроса о разложении организмами глины – вопроса, имеющего первостепенное значение для выяснения геохимической истории кремния и алюминия в земной коре. Как известно, стойкое ядро глины – каолиновое ядро – не распадается при обычных реакциях выветривания и все алюмосиликаты с таким строением, а к ним принадлежат такие важнейшие группы, как полевые шпаты, цеолиты, нефелины, лейциты, гранаты, слюды и т.д., при выветривании в биосфере дают свободные сложные кислоты, какими являются глины, теряя металлы и получая элементы воды. Нам известно распадение каолинового ядра, т.е. разрыв связи между атомами алюминия и кремния в этой важнейшей в истории Земли группе тел только при действии высокой температуры или сильных кислот при некотором нагревании. При этом могут образовываться алюминиевые соли или гидраты. В природе этот процесс идет, например, в областях фумарольных явлений.

* Впервые опубликовано в: Изв. Рос. акад. наук. Сер. 6. 1921. Т. 15, № 1–18. С. 120–123.

Наряду с этим мы имеем случаи таких же разложений в некоторых поверхностных слоях биосферы, где такие условия химических реакций отсутствуют – в почвах тропических, а может быть и подтропических стран, где глина распадается с выделением гидратов окиси алюминия, в отложениях гуано в той же жаркой области, где она дает алюмофосфаты, и в некоторых случаях образования купоросных земель – а может быть и селитряных – где получают алюмосульфаты. Лет двадцать тому назад знаменитый исследователь моря *Меррей* обратил внимание на этот процесс распада алюмосиликатов в связи с историей кремния в океанах и вместе с *Ирвином* проделал ряд опытов, которые привели его к убеждению, что диатомовые водоросли могут разлагать взмученную в воде глину, выделяя нужный им для жизни кремнезем. Процесс этого выделения является совершенно загадочным и никакого объяснения в физиологии диатомовых не получает. Необходимо заметить к тому же, что имеющиеся, к сожалению чрезвычайно недостаточные, анализы диатомовых указывают в их золе присутствие не только большого количества кремния, но и значительные количества алюминия. Несколько лет тому назад, занимаясь наблюдениями над почвами Моршанского уезда, Тамбовской губ., я обратил внимание на оподзоливание чернозема в западинах, так называемых блюдцах, причем мне удалось выяснить образование в них разложением алюмосиликатов каолинового строения с выделением гидратов окиси алюминия и железа, и в почвах этих оказалось большое количество бактерий и диатомовых. Об этом мною был сделан доклад в 1910 году в Почвенном комитете в Москве, но работа эта не была напечатана, а диатомовые этих западин были изучены *А.Б. Миссуной* и работа ее напечатана. Вместе с этим в этих подзолистых изменениях чернозема поражаало количество бактерий. Хотя нам сейчас неизвестны бактерии, связанные с кремнием или алюминием, однако, легко убедиться в нахождении кремния в продуктах, связанных с жизнедеятельностью железобактерий, на что указывалось еще *Эренбергом*; кремний находится в железных охрах, выделяемых железобактериями окрестностей Киева. К сожалению, количественных анализов этих образований и вообще количественных анализов железобактерий мы не имеем. Присутствие кремния совершенно оставляется в стороне при объяснении биологии железобактерий. Железные руды, которые образуются их жизнедеятельностью, всегда заключают кремний, – получают не гидраты окиси железа или не только гидраты, но и феррисиликаты и количество кремния достигает нескольких процентов. Наконец, мы знаем, что наблюдения *Голланда* и других указывают, что процесс распада глин в тропических почвах, связанный с выделением гидратов окиси алюминия, и образование латеритов есть процесс биохимический, но характер микроорганизмов не выяснен.

Все это заставило меня – особенно ввиду значения Al и Si в земной коре – повторить опыты *Меррея* и *Ирвина*, тем более, что эти наблюдения странным образом обратили на себя внимание только геологов и минералогов и не вошли в ботаническую литературу, и что в познании биологии и физиологии диатомовых после работ *Меррея* и *Ирвина* достигнуты большие успехи. Работу эту пришлось вести при ужасных условиях. Ее начал вести под руководством проф. *Н.Г. Холодного* в биологической части молодой ученый, студент Киевского Университета св. Владимира, раненный во время войны офицер *Наумович*. Он начал добывать чистые культуры диатомовых. К сожалению, Наумо-

вич по набору при гетмане Скоропадском был взят на военную службу и убит солдатами, перешедшими на сторону наступавшего Петлюры. Прекрасно начатая им работа была прервана и не могла быть продолжена; еще с позиций, за день до смерти, Наумович за несколько верст прибегал следить за культурами... Только через несколько месяцев мне удалось найти ему заместителя и вновь начать работу. Такой заместитель нашелся в лице молодого полтавского натуралиста *А.Д. Оглоблина*, тоже бывшего офицера и студента Университета св. Владимира. Его работа пошла успешно, ему удалось выделить чистую культуру *Nitzschia* – однако не удалось освободить ее от многочисленных сопровождающих ее бактерий. С этой культурой удалось поставить опыты над изменением одной из подольских глин, химически изученной. К сожалению и работа Оглоблина была прервана в самом начале. Он был взят по набору в войска и должен был оставить работу. Однако уже ясно, что глина в контрольных сосудах, без культуры диатомовых (и бактерий) совершенно иная, чем та, которая дала место флоре этих организмов. Материал его изучается в Киеве и, надо надеяться, первые данные будут получены. Но вся эта работа во всем ее нужном масштабе должна быть сейчас вновь начата.

Другой поставленной мною задачей явилось изучение нахождения металлов [Ce], [Y], V, Zn, Cu, Sn, Sb, Ni, Co, Ti, Cr, Mn и т.д. в разных организмах, определенным образом собранных и изученных. Причем вес всех этих организмов – средний вес однородного живого вещества – был точно определен и все данные анализов должны были быть относимы к этому среднему весу, т.е. к весу живого организма. Нам удалось иметь в достаточном количестве материал, отвечающий почти 120 разным видам животных и растений. Все эти организмы были превращены в золу обычным путем, что, как я теперь вижу и как выяснилось среди работы, является ошибкой. Элементы, которые искались в этих золах, были выбраны или такие, которые легко могли попутно открываться, или главным образом такие, которые, на основании соображений геологического характера, должны находиться в организмах, но там не отмечены, причем данные должны были искаться не только качественные, но и количественные. Сейчас работа *М.И. Бессмертной* указывает на постоянное нахождение Ni, Cu, Mn в организмах, причем во всех изученных (четырёх) видах мхов количество Ni и Co является количественно определяемым. Работа эта будет закончена в Киеве, но я считаю необходимым возобновить ее здесь в возможно широком масштабе.

Третьей работой являлось изучение нахождения элементов редких земель в костях организмов. Для 16 элементов редких земель, обычно встречаемых вместе, в одном минерале, нам неизвестны вадозные минералы. Вместе с тем и явления рассеяния для них выражены были ясно только для третичных и ювенильных образований земной коры. Между тем содержащие редкие земли минералы выветриваются и, надо думать, что заметная часть удаляющихся элементов редких земель будет собираться в живом веществе. Указания на их нахождение почти отсутствуют, если не считать указаний *Косса* и *Крукса*, сделанных попутно. В то же самое время и состав костей вообще – даже высших позвоночных – не может считаться выясненным в той степени, какая необходима для геохимических заключений. Эту работу я считаю также необходимым возобновить в правильном, насколько это сейчас возможно, масштабе.

Наконец, необходимо сейчас же поставить несколько прямых определенных воды в организмах, так как до сих пор, сколько знаю, мы не имели ни одного определения этого рода. А между тем, количество легко удаляемой воды огромно и при всех геохимических расчетах должно быть принимаемо во внимание. При обычном высушивании, кроме Н и О, уходят еще N, S, P, С и т.д.

Для возобновления этих работ необходима организация лабораторного исследования. Она необходима и для получения хотя бы первоначальных данных о количественном составе организмов. Как это ни странно, мы не имеем сейчас ни одного элементарного анализа, удовлетворяющего научным требованиям, какого-нибудь живого организма, так как обычно – в зольной части – анализы отнесены к высушенным на воздухе или при 100–110 °С телам, причем средний вес организма неизвестен. Мы не имеем ни одного анализа, отвечающего даже организму человека. В геохимических работах нельзя сейчас сравнивать наши познания о химическом составе минералов или горных пород с химическим составом живого вещества. В связи с этой методической работы мною летом и весной 1920 года было произведено исследование в химической лаборатории Салгирской плодородственной станции около Симферополя, которое я бы хотел закончить. Эти работы выяснили необходимость оставить в стороне для такого анализа организмов методы озоления и перейти к другим приемам, например, к разложению организмов кислотами при нагревании в автоклавах. Я уже говорил с проф. *Н.Д. Зелинским* в Москве, который согласен поставить там эту часть работы. В Москве есть газ, которого мы лишены в Петрограде.

О ЗАДАЧАХ ГЕОХИМИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ АЗОВСКОГО МОРЯ И ЕГО БАССЕЙНА*

1. Приступая к научному изучению Азовского моря, мы должны поставить химическую часть нашей работы несколько иначе, чем это до сих пор делается в океанографических исследованиях.

Это связано, с одной стороны, с тем развитием, какое переживает сейчас геохимия, а с другой стороны, со своеобразными практическими заданиями, какие должны быть поставлены нашему исследованию.

Химические исследования уже давно заняли видное место в океанографии. Бросающаяся в глаза соленость моря обратила на себя внимание ученых уже при первом проникновении научной методики в область изучения океанов и морей. Еще в XVII столетии Роберт Бойль, задолго до создания новой химии, научно охватывал проблемы солености моря и положил начало химической океанографии.

Вопросы эти обращали на себя внимание в течение XVIII и XIX веков и заняли видное место в работах по изучению моря, которые связаны с пла-

* Впервые опубликовано в: Изв. Рос. акад. наук. Сер. 6. 1921. Т. 15, № 1–18. С. 99–109. Опубликовано также в следующих изданиях: Зап. Крымск. о-ва естествоиспытателей и любителей природы. 1925. Т. 8. С. 7–18; Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. С. 105–114.

номерной и организованной постановкой этого исследования. Она началась в 50-х годах XIX столетия и привела к созданию международной сети океанографических, главным образом биологических, станций и лабораторий. Химические исследования моря всегда также принимались во внимание и в океанографических экспедициях, которые непрерывно идут по всем морям и океанам в течение второй половины XIX столетия и в XX столетии.

Два момента должны быть выделены в этой работе, ибо они определили все дальнейшие исследования. С одной стороны, в 1870–1890-х годах была произведена и опубликована работа английской океанографической экспедиции Чалленджера. Ее химические исследования воды океана, распределения в ней газов и некоторых элементов, использованные для этого приемы научной работы обратили на себя общее внимание, вызвали плодотворную научную критику и сделали некоторую часть химических исследований обязательной для всякой всесторонней работы по изучению океанов и морей. Особенно работы Мёррея и его сотрудников над составом и химическими процессами дна океана явились исходной точкой для всех дальнейших работ в этой области.

Позже, уже в XX столетии должна быть отмечена в развитии знаний о химии моря координирующая работа основанной в 1902 г. Международной комиссии по изучению моря. Ею было сделано много для выработки и согласования общих методов химического анализа, главным образом в химии газов и некоторых важнейших составных частей морской воды. Этим путем достигнуты сравниваемые нормы химического исследования моря. В конце концов, в течение 60–70 лет систематической работы накопился огромный материал и значительно подвинулось наше знание по химии морской воды. История обычных газов в морской воде (кислорода, азота, углекислоты) и некоторых элементов, играющих преобладающую роль в ее солевом составе (магния, кальция, натрия, серы, хлора, брома), выявилась нам сейчас в ясной картине. Мы знаем в общих чертах распределение этих элементов в разных океанах, на разных глубинах в связи с изменением их физико-географических условий. Особые успехи сделала химия обычных газов. Она вызвала непрерывный ряд работ благодаря тому значению, какое имеет газовый обмен моря для жизни и развития важных для человека промысловых животных.

Значительно меньше подвинулась за это время химия тех процессов, которые совершаются на дне морей и океанов, в морской грязи. Полученные до сих пор результаты, несомненно, представляют собой ничтожную часть той работы, которую предстоит еще сделать. Однако уже и сейчас во многих случаях можно пользоваться полученными данными как для решения важнейших геологических, минералогических и геохимических проблем, так и для вопросов практического характера, выдвигаемых людскими потребностями.

2. Однако все эти химические исследования складывались историческим путем без общего плана. Выдвигалась и входила в работу та или иная сторона химии океанов или в зависимости от научных проблем, стоящих на очереди и обративших внимание ученых, или она ставилась случайностями практической жизни. До сих пор задача не была охвачена во всем ее объеме. Никогда не было объектом научной работы выяснение всей картины химии моря, всего химического процесса, происходящего в данном бассейне во всех его проявлениях. Эта проблема может быть поставлена нами только теперь, когда благодаря развитию и выявлению в XX столетии новой науки – геохимии – мы

подошли к изучению химии земной коры. Ибо теперь, пользуясь данными и приемами минералогии и геохимии одновременно, мы охватываем все вопросы химии земной коры и, как ее части, химии гидросферы, т.е. химии океанов и морей.

При изучении химических процессов грязи дна океанов, да и самого химического состава морской воды, преобладало до сих пор в обычных работах морских экспедиций или биологических станций химико-минералогическое освещение вопросов, геохимическая сторона вопроса выдвигалась совершенно случайно и большей частью даже отсутствовала.

Геохимия изучает историю химических элементов в земной коре, причем, очевидно, ее задачей является проследить и понять историю всех химических элементов, безразлично к тому, являются ли они обычными или редкими. Ибо более или менее редкое нахождение элементов в земной коре является одним из тех природных явлений, которые как раз подлежат объяснению в геохимии. Для понимания истории химических элементов в земной коре, безусловно, необходимо изучить все их находения в ней, ибо каждый химический элемент переходит из одного нахождения в другое и все находения являются проявлением одной и той же истории химического элемента, следствием связанных между собой химических процессов.

В океанах можно отметить три различных типа их нахождения: 1) нахождение элементов в составе минералов и пород дна и берегов и в составе морской воды, которую, впрочем, можно рассматривать как жидкий минерал или породу; 2) нахождение в форме рассеяний в грязи дна, морской воде и в живущих в океане или связанных с океаном организмах и 3) нахождение их в составе соединений, строящих морские организмы.

Можно получить полное представление о геохимии океанов только тогда, когда мы будем знать историю химических элементов во всех этих трех типах их находений: в воде и твердых минералах, в рассеяниях и организмах. Только при этих условиях, особенно если мы введем сюда количественное измерение, мы получим полный баланс той огромной лаборатории, которую представляет собой наша гидросфера.

До сих пор систематически изучались в океанографических работах только находения элементов в минералах и морской воде, и то изучались только немногие обычные элементы. Очевидно, с геохимической точки зрения, необходимо ввести в круг такого исследования по возможности все элементы.

Явления рассеяния элементов обыкновенно не входили в круг океанографической работы. Правда, эти явления не раз изучались, но отдельными исследователями, и ни разу это изучение не охватывало систематически какой-нибудь бассейн. А между тем, с биологической точки зрения, имеет значение изучение этой формы нахождения элементов, ибо в некоторых случаях оно обуславливает богатство данного бассейна организмами. Так, например, необходимый для некоторых, а, может быть, для всех организмов иод находится в гидросфере только в растениях в виде рассеяний. История фосфора, столь необходимого для организмов, совершенно не выяснена в океанах, так как он находится в морской воде главным образом в форме рассеяний. Влияние же фосфора, находящегося в виде соединений в грязи дна, может быть правильно учтено только тогда, когда будет изучено его нахождение в форме рассеяния. Очевидно, большее или меньшее нахождение фосфора в следах в

гидросфере определяет развитие в ней жизни, а полное его отсутствие в морской воде будет указывать на то, что количество жизни в данной области достигло предела и дальнейшее ее развитие может идти лишь за счет фосфора, включенного уже в живую материю. Такое же огромное значение рассеяний может быть отмечено и для других элементов – железа, марганца и др.

Поэтому ставя себе задачей полное выяснение химии данного моря, учет и баланс его химических процессов и передвижение в нем химических элементов, необходимо ввести в круг изучения и исследования нахождение в нем следов элементов, обычно при таких работах не принимаемых во внимание.

Это изучение вызывается и другими соображениями. Так, для общей геохимии цезия, рубидия, тяжелых металлов, как медь или цинк, марганца необходимо прежде всего изучение их судьбы в гидросфере. Есть ряд химических элементов, которые до сих пор совсем ни в какой форме не найдены в морской воде, и неясно, является ли их отсутствие кажущимся или реальным явлением природы. Таковы, например, элементы редких земель, платиновой, осмиевой группы и т.д. До сих пор едва найдена в океанах половина известных нам химических элементов. Есть ли или нет в них остальные элементы? Тот или иной ответ на этот вопрос имеет большое значение для общих проблем геохимии. Но больше того, на изучении рассеяния химических элементов в морской воде можно легче всего уяснить различную для разных элементов степень этого рассеяния. Только этим путем можно сейчас подходить к выяснению столь мало нам известных закономерностей самого рассеяния химических элементов, явления природы во многом загадочного.

Но помимо этих и многих других вопросов общего характера, связанных с изучением рассеяния химических элементов в гидросфере, эти исследования имеют значение и с более узкой точки зрения – с точки зрения биологии моря.

По мере того как мы проникаем в изучение явлений жизни, мы убеждаемся, какое своеобразное и нередко огромное влияние имеют следы различных химических элементов на ход самых разнообразных физиологических процессов. Химические процессы идут в организмах различно в их присутствии или отсутствии. Опыт показывает, что на жизни микроскопически мелких организмов иногда могущественно отражаются гомеопатические содержания элементов, например меди или цинка, неуловимые обычными приемами анализа.

В природе все связано. И то, что наблюдается в лаборатории, должно наблюдаться и в природных нахождении организмов. К сожалению, это мы можем лишь предполагать. Фактов подтверждающих нет. Их искание должно быть поставлено на очередь. Изучение рассеяния химических элементов в разных частях Азовского моря и его бассейна в связи с явлениями распределения и размножения организмов, надо думать, может дать нам ключ к выяснению темных сторон в истории этих организмов. Во всяком случае, в трудных и сложных вопросах, подлежащих нашему изучению, мы должны испробовать все пути и испробовать по возможности новые, каким как раз является изучение рассеяния элементов.

3. Может быть, еще важнее и, во всяком случае, еще более непосредственно связана с организмами другая сторона геохимического изучения моря – химическое исследование самих организмов.

Как это ни странно, полных химических анализов самих организмов, отнесенных к живому животному или растению, мы имеем чрезвычайно мало. Целые огромные отряды и классы организмов совершенно не анализированы даже в единичных представителях своих видов. Для обитателей моря количество таких анализов совершенно ничтожно. Недостаточно выработаны и методы таких анализов. Химические анализы организмов могут с геохимической точки зрения вестись в двух направлениях, которые мы можем сравнивать с анализами минералов или составленных из них горных пород. С одной стороны, можно вести химический анализ однородного живого вещества, т.е. неделимых одного и того же вида организмов. С геохимической точки зрения, по своему биохимическому эффекту имеет особое значение такой вид, который живет социально, т.е. неделимые которого встречаются массами в одном месте, например какие-нибудь медузы, раки, рыбы и т. д., наблюдаемые стаями.

Но, с геохимической точки зрения, не меньшее значение имеет анализ разнородного живого вещества, представляющего естественное скопление, например, анализ планктона в разные времена его развития, валовой анализ живого вещества на разных глубинах моря, каков бы состав его ни был, анализ леса водорослей со всем его содержимым и т. п. Несомненно, в этом случае, когда мы анализируем природные сгущения живого вещества или биоценозы, мы анализируем живое вещество, составленное из разных однородных частей, чему в первом случае мы имеем аналог анализа минерала, во втором случае мы имеем аналог анализа горной породы.

К сожалению, такие даже отдельные анализы могут быть исчислены наперечет, они очень редки, и ни разу до сих пор ни один участок моря не был с этой точки зрения изучен систематическим образом. Можно сказать без преувеличения, что химический состав самых обычных морских обитателей для нас *terra incognita*.

Уже по этому одному несомненен интерес такого исследования Азовского моря и его бассейна.

Но такое исследование имеет и другое огромное научное значение. Несомненно, в массах живого вещества, скапливающегося в гидросфере, мы имеем дело с многими миллионами тонн материи. Количество химических элементов, сосредоточенных в организмах моря, отнюдь не является ничтожным по сравнению с количеством элементов, находящихся в растворе в морской воде. Химический состав океана, даваемый нам только в виде состава водяного раствора, его заполняющего, не отвечает действительности. Для получения правильного представления о нем к этому составу необходимо прибавить химический состав организмов, плавающих в морской воде, их остатков и наблюдаемых нередко, особенно в более пресных морях, взмученных их частиц. Как велика эта поправка, мы не знаем. Но она, несомненно, далеко не безразлична для разных частей океана и моря, например для верхнего слоя, богатого планктоном. Думаю, что для этого слоя состав океана после введения этой поправки будет резко отличаться от состава той отцеженной от организмов морской воды, которым мы пользуемся во всех наших суждениях о составе моря и его геохимическом эффекте. Для таких мелких морей, как Азовское, проникнутых чрезвычайно богатой жизнью во всем своем объеме, эта поправка особенно велика и особенно необходима.

Нечего говорить, что правильно проведенная работа этого рода, когда приняты во внимание организмы, наиболее распространенные, т.е. охватывающие главную массу живого вещества, и наиболее важные формы их естественных скоплений и смешений, даст нам новые данные, имеющие огромное биологическое и физико-географическое значение. Только при этом мы можем иметь картину изменения химического характера моря в связи с изменением физико-географических условий его существования, и только при этих условиях мы можем свести его химический баланс.

Правильное ведение анализа однородного живого вещества требует для своего геохимического учета знания: 1) среднего веса организмов, которые подвергаются анализу в форме однородного живого вещества, и 2) количества их неделимых. Этих чисел мы почти не имеем, так как вес организмов до сих пор чрезвычайно мало обращал на себя внимание натуралистов. Только в одной части морского материала, для промысловых рыб, эти данные, не очень точные, имеются в большом количестве, ибо одной из задач правильного экономического использования какого-нибудь бассейна является по возможности полный учет получаемого ценного рыбного продукта. Сбор данных этого рода для Азовского моря является одним из важных условий точности всего нашего геохимического исследования. Однако организация этих статистических исследований не входит в геохимическую часть работы, которая может только использовать полученный другими людьми материал.

Но промысловые рыбы составляют только часть живого вещества, химически изучаемого при исследовании Азовского моря. Собрание данных о среднем весе по возможности большего числа видов является одной из неотложных работ, тесно связанных с химическим анализом моря, ибо анализ однородного живого вещества может иметь значение для геохимических выводов только тогда, когда он отнесен к среднему весу его неделимых, к живому организму.

Полученные этим путем химические числа должны дать ряд данных для общего химического баланса моря. Но помимо однородного живого вещества, мы должны, как уже указывалось, пользоваться и закономерными скоплениями разных однородных живых веществ, которые можно количественно учесть. Таковы, например, обычные ныне количественные учеты планктона и рыбных уловов. При химическом анализе тех и других, очевидно, мы получаем очень важные данные для суждения о химическом балансе моря, хотя они и отнесены к разнородному живому веществу. Очень важно было бы расширить область таких количественных учетов и ввести новые данные, связанные с анализом населения бентоса, живого вещества морской грязи и т.п.

4. Совершенно ясно, что такой количественный учет живого вещества моря имеет значение для целого ряда геологических, физико-географических и геохимических вопросов. Но он не менее важен для вопросов биологических и промысловых.

Можно остановиться на двух из таких вопросов более общего характера. Одним из них является вопрос о химическом составе организмов. В биологии до сих пор привыкли не считаться с химическим составом различных однородных живых веществ. Данные и суждения, относящиеся к одному какому-нибудь виду организмов, без боязни ошибки переносят к другим химически не изученным видам. Это делают потому, что предполагают единство хими-

ческого состава всех организмов благодаря единству протоплазмы, лежащей в основе их вещества. Но не говоря уже о том, что по весу протоплазма нередко составляет небольшую часть организма, идентичность химического состава протоплазмы разных видов является гипотезой, и не основанной на фактах. Она настоятельно требует проверки. Больше того, изучение геохимических эффектов организмов ясно указывает, что однородные живые вещества, строящие живую природу, часто химически резко различны. Очевидно, проверка этого вывода, основанная на неопровержимых научно точных данных, должна иметь большое значение в биологии для решения самых разнообразных ее вопросов.

Еще большее значение, особенно практическое в применении к промысловому рыболовству, должен иметь другой химический учет, связанный с этой работой учет различных групп организмов, строящих царства животных и растений данного бассейна.

Объединение отдельных организмов в нечто единое – живую природу или царства животных и растений – не является чем-то внешним или логическим приемом мысли. Оно отвечает реальному явлению природы. Живая природа представляет действительно нечто между собою связанное, единое нераздельное по своим проявлениям. Она имеет определенную структуру.

Особенно ярко проявляется эта структура в геохимических явлениях в том случае, когда мы обратим внимание на распределение в живой природе организмов не по морфологическим их признакам, а по способам их питания, т.е. получения ими нужных для жизни химических элементов. С этой точки зрения, вся живая природа – все население моря в данном случае – может быть разделена на отдельные независимые части, химический учет которых в связи с количественным учетом их масс даст нам яркую и полную картину строения живой природы, из которой мы можем сделать многочисленные и разнообразные научные и практические выводы. С этой точки зрения, живая природа распадается на: 1) автотрофные хлорофильные организмы, 2) автотрофные бесхлорофильные организмы, 3) травоядные, 4) плотоядные, 5) сапрофиты и 6) паразиты.

Мы можем количественно и химически учесть эти группы живой природы Азовского моря, когда мы знаем количество и состав главнейших и наиболее распространенных живых веществ, каждой из них отвечающих.

Чем более точны наши знания количественного характера о таком строении морского населения, тем точнее и наши выводы. В частности, для решения наших практических задач необходимо, углубляя изучение этого строения, выяснить количественное – по составу и весу – положение промысловых рыб в этой структуре живой природы и найти этим путем наилучшие условия их максимального развития. Это особенно возможно сделать по отношению к Азовскому морю, ибо оно вместе с Каспийским является, по-видимому, одним из наиболее рыбных бассейнов земной поверхности. Для целого ряда практических вопросов такое знание населения моря должно иметь решающее значение и надо стремиться к наиболее полному и точному его постижению.

Несомненно, есть целый ряд вопросов практического значения, которые связаны с химическим изучением Азовского моря, как, например, выскивание организмов, богатых иодом, бромом или калием, для добычи которых эти организмы могут иметь значение.

Нисколько не сомневаюсь, что введение в круг нашей систематической работы химического изучения живого вещества моря в связи с его количественным учетом, помимо его значения в геохимии, должно привести к ряду новых достижений в биологии и практической жизни. Поэтому я считаю это одной из важнейших задач в данный момент предполагаемой работы.

5. Для полного химического баланса Азовского моря, однако, недостаточно химического изучения грязи, воды, заселения моря. Море не отделено от окружающей среды, отдает в нее и получает от нее химические элементы, и это должно быть нами по возможности исчислено. Только этим путем мы можем получить полное представление обо всем химическом балансе моря, о его химических реакциях.

Поэтому, помимо исследования моря, нам одновременно необходимо вести химическое исследование некоторых сторон окружающей его природы.

Часть химических элементов выходит из моря в атмосферу и из нее, частью в форме осадков, поступает вновь в море. Так, в брызгах воды, а может быть и в испарениях, уходят хлор, сера и т.д., а в осадках поступают окислы азота, сера, хлор и т.п. Мы можем очень точно учесть количество этих элементов, зная состав воздуха, зная количество осадков и площадь моря. Изучение – химическое – морского воздуха должно непременно входить в число задач исследования Азовского моря. Нельзя не отметить, что всякий морской бассейн в природных процессах является источником некоторых элементов для далеких от него мест благодаря движению воздуха. Мы знаем, например, какое значение имеют с этой точки зрения в течение долгих, геологически длящихся лет дующие с моря ветры для пустынных отложений каменной соли. Для Азовского моря с этой точки зрения особенно важно изучение выделения серы. В бассейне Каспия и Черного моря мы в некоторых случаях имеем несомненное удаление серы биохимическими процессами из морской воды в форме сероводорода и образование лишенных сульфатов соляных озер. Вероятно, этот процесс идет и в бассейне Азовского моря.

6. Другим источником, изменяющим извне химический баланс Азовского моря, являются реки. Они постоянно вносят в Азовское море огромное количество химических элементов в растворенной в воде форме или же в виде твердых, взмученных в воде веществ. Необходимо организовать полный учет и другой химической работы. Особенно это важно в Азовском море, так как в него впадают такие мощные реки, как Дон и Кубань, и в то же время при малой солености Азовского моря и его мелководности влияние речной воды должно сказываться очень резко.

С геохимической точки зрения, необходимо не только учитывать количество взмученных частиц и вливаемой в море воды, но также количество и характер тех элементов, которые при этом в море вносятся.

Эти явления получают еще большее значение потому, что мы имеем унос из моря в реки химических элементов – обратный процесс, который до известной степени компенсирует химическую работу рек. Этот процесс совершается живым веществом и теснейшим образом связан с практически задачами рыболовства, почему и с этой точки зрения заслуживает самого внимательного изучения.

При геохимических исследованиях рек мы должны идти тем же самым путем, как и при геохимическом исследовании моря. Мы будем изучать и состав речной воды, и речного ила, и мути, и рассеяние в них химических элементов, и химический состав речных организмов.

С точки зрения химического обмена рек и моря, особое значение приобретает химическое исследование организмов. Речные организмы далеко проникают в такое мало соленое море, как Азовское. Из моря в реки проникают и морские рыбы. Оставленная в реках икра морских рыб развивается в значительной мере за счет химических элементов рек, и таким образом в море приносится огромное количество химических элементов. С этой точки зрения, кажется, не учитывалось указанное явление, и потому мы не знаем, больше ли вещества вносится морем в реки или выносится реками в море в форме икры (из элементов моря) и молодых рыбешек (выросших за счет элементов реки). Нет сомнения, что точное изучение этого явления далеко не безразлично и в вопросах промыслового характера, ибо увеличивает наше точное знание природного процесса, которым мы хотим овладеть для наших практических целей. Несомненно, море вносит большое количество вещества в реки во время движения рыб, которые проникают в реки во время нереста. Необходимо точное химическое изучение этого вопроса. Надо учесть вес тех рыб, которые входят из Азовского моря в реки, их химический состав и выраженное в весе количество рыб, которое возвращается в море. Разница между этими числами будет представлять то вещество, которое осталось в реке, если мы примем еще во внимание улов рыбы человеком.

Обращаясь к этому последнему, мы не должны забывать, что имеем дело с совершенной потерей химических элементов морем и имеем здесь явление, аналогичное тому, какое наблюдается в сельском хозяйстве при снятии жатвы. Так мы давно привыкли учитывать химический процесс и возвращать назад в землю те химические элементы, которые находятся в ней в недостаточном количестве. Имеем ли мы что-нибудь подобное и для рыболовства Азовского моря? Сейчас мы можем поставить эту задачу, разрешение которой, помимо геохимического интереса, имеет огромное практическое значение. Даже для больших морей, например для Немецкого, мы знаем, что улов рыбы человеком сильно нарушает установившийся природный баланс химических элементов моря, например для соединений азота. Очевидно, тем более необходимо иметь в виду возможность этого явления для такого мелкого моря, как Азовское. Мы знаем давно, что в прудовых хозяйствах необходимо регулировать улов удобрением, как регулирует человек удобрениями землю при жатве. И на суше, и в море законы перемещений химических элементов и живой материи одни и те же.

Есть один процесс, связанный с живым веществом, который, подобно деятельности человека, изымлет химические элементы из моря, мало в него их возвращая. Это деятельность приморских животных, питающихся морскими организмами. Среди них особое значение имеют те, которые, как птицы, далеко уносят химические элементы Азовского моря без возможности его возврата. Поэтому имеет значение химическое изучение птиц, питающихся морскими продуктами Азовского моря, и определение массы заключенного в них вещества; особенно важно изучение тех их масс, которые собираются у моря во время осеннего и весеннего перелетов.

7. В истории Азовского моря есть еще один источник, меняющий химический баланс моря, – Керченский пролив, откуда входит в него морская вода из Черного моря и вытекает вода Азовского моря.

Несомненно, точное выяснение этого явления во всем его значении в числовой форме должно быть задачей исследования Азовского моря. Очевидно при этом, что оно и здесь должно быть предпринято в том же масштабе и теми же приемами, как и все другое его химическое изучение.

Мы должны захватить с этой точки зрения в круг нашего исследования как Керченский пролив, так и прилегающую часть Черного моря.

Необходимость этого исследования становится еще более неотложной благодаря тому значению, какое имеет прилегающая часть Черного моря для азовского рыболовства. В Азовское море и из Азовского моря через Керченский пролив идет не только вода, но и организмы, и в том числе масса таких рыб, как сельдь, которые имеют огромное экономическое значение.

Поэтому необходимо изучить организмы Черного моря, проникающие в Азовское, совершенно так же, как мы это указывали для режима азовских рек. Учитывая их количество – вес и зная их химический состав, мы получим необходимые нам новые данные для химического баланса Азовского моря. При настоящем нашем знании этих вопросов мы совершенно не в состоянии предвидеть те явления, которые при этом должны нам открыться. Помимо чисто научного значения, несомненно, это изучение даст нам возможность приложить наши знания и для решения задач практической жизни, связанных с лучшим использованием рыбных богатств.

8. Но этим не заканчивается химическое взаимодействие Азовского моря с окружающей его внешней средой. Помимо рассмотренных процессов, которые представляются непрерывными и постоянно идущими, совершаются более медленные процессы, заметные для нас только через года и столетия, иногда же ясно сказывающиеся лишь на протяжении геологического времени.

Для Азовского моря эти явления связаны с изменением границы между сушей и морем, образованием озер, изменением площади и характера устьев рек и т.п. Ввиду того значения, которое эти явления имеют для практических целей, они должны быть включены в круг нашей работы.

Задача эта по существу физико-географическая. Дело геолога – выяснить причину высыхания степных рек, когда-то полных рыбы, изменение озер и стариц. Для геохимического исследования необходимо ввести только такие изучения химических процессов, при этом происходящих, которые или важны для химического баланса моря, или могут представлять практический интерес, или дают данные для решения научных проблем.

С этих точек зрения необходимо обратить внимание: 1) на химический состав озер в связи с их геологической древностью и физико-географическими условиями; 2) на химический характер остатков, осадков, которые получают при этих геологических изменениях, 3) на некоторые биологические процессы, ныне наблюдаемые в этих областях медленных изменений суши и моря.

Не касаясь подробностей, необходимо отметить, что при изучении озер, связанных с Каспийским и Черным морями, мы помимо общих научных достижений получаем очень важные данные, которые могут быть использованы

или с целебными целями, или для химической промышленности в связи с содержанием в них брома, иода, солей калия и магния. Очевидно, и исследование озер должно быть построено на геохимической основе, т.е. на изучении истории в них всех химических элементов.

Химическое и биохимическое изучение грязей, связанных с этими процессами замирания или наступания моря, представляют область явлений, которые в Черноморско-Каспийском бассейне получили особое развитие. Здесь мы видим область геохимии, в которой русские работы занимают очень видное место. Мы должны систематически идти дальше по этому пути всегда и во всех случаях, когда встречаемся с этими явлениями, дабы не прерывалась нить и проникновение во многом в темную и сложную область, которая так блестяще была начата в России (в Одессе) Вериго около сорока лет тому назад. Изучение этих явлений объяснит нам и многие процессы, идущие сейчас на дне моря, и даст ключ к разъяснению важных геологических фактов, ибо мы имеем на юге России огромную область геологических отложений, где близкие геохимические процессы достигали когда-то грандиозных размеров.

С этой точки зрения, необходимо обратить внимание на биохимические процессы в данных областях взаимодействия между сушей и морем. Среди них особенно имеют значение процессы выделения сероводорода в связи с круговоротом серы и процессы, связанные с работой железных бактерий. На явление этого последнего рода необходимо обратить особое внимание в связи с загадочным до сих пор генезисом керченских и таманских руд, являющихся продуктами мощного геохимического процесса, которого мы сейчас видим, по-видимому, лишь слабые отголоски.

20 декабря 1919 г.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА В СВЯЗИ С ХИМИЕЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ*

I

Я позволю себе коснуться некоторых вопросов, которые всецело овладели мной эти последние годы, из области новой, окончательно установившейся в XX веке науки – геохимии.

Геохимия изучает историю химических элементов в земной коре, в отличие от минералогии, изучающей природные химические соединения, молекулы – минералы. При этом изучении выяснилось чрезвычайное влияние, какое играет в истории химических элементов живой органический мир, жи-

* Лекция, прочитанная в Петрограде 12 марта 1922 г., а затем в Праге в Карловом университете (по-русски) в том же году. Впервые опубликована под названием «Химический состав живого вещества» (Пг.: Изд-во «Время», 1922. С. 48). Опубликовано также в следующих изданиях: Rev. gen. sci. 1923. Vol. 34, № 2. P. 42–51; Sb. prirod. 1926. Vol. 1. P. 1–16; Биогеохим. очерки. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 9–24; Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. С. 143–159.

вое вещество, как я буду его называть. Мы не можем понять этот процесс, не принимая во внимание существования на земной поверхности организмов. Уже давно, около 100 лет назад, это стало ясно для таких элементов, как O, C, N, P и т.д. Но это несомненно и для таких, казалось, далеких от организмов простых тел, как Si, Fe, Mn, Cu или Al. Мы увидим сейчас, что это несомненно по крайней мере для 50–60 из числа известных, химически отличающихся различных систем атомов, для 50–60 (по данным 1936 г.) химических элементов из числа 92 ныне известных нам тел, обладающих различными атомными числами. Таким образом, более половины химических элементов тесно связаны в своей истории в земной коре с живым веществом.

Эти элементы составляют особую группу простых тел химии, вся история которой в земной коре выражается циклами, постоянно приводящими элемент в исходное для него в данной земной оболочке состояние. Таковы следующие элементы (главным образом элементы циклические):

H, Li, Be, B, C, N, O, F
Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K
Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co
Ni, Cu, Zn, Ge, As, Se, Br, Rb
Sr, Y, Nb, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn
J, Cs, Ba, La, Ce, Au, Hg, Pb
Rn, Ra, U, Po, Ac.

И эти элементы составляют по весу почти всю земную кору, приблизительно 99,6% ее веса и более 50% всех нам известных сейчас химических простых тел.

Но прежде, чем идти далее, я остановлюсь на следствии, которое вытекает для изучения организмов из такого совершенно исключительного их геохимического значения. В геохимии мы не можем обойтись без изучения живых организмов, явлений жизни. Но эти организмы проявляются для нас совсем не в тех формах, в каких они рисуются биологам. Геохимик должен свести организмы к тем формам нахождения химических элементов, с которыми он имеет дело в минеральном царстве; для него организм проявляется своим химическим составом, своим весом, своей энергией. Морфологическая его структура, внутренние процессы, идущие внутри организма, отходят на второй план, хотя отнюдь не являются, как мы это увидим, безразличными.

Организмы проявляются не единично, а в массовом эффекте. Отдельное неделимое – в огромном по сравнению с ним масштабе явлений земной коры – исчезает. Имеет значение совокупность неделимых. Для геохимика живые организмы почти исключительно проявляются теми своими сторонами, которые сказываются в статистических законах, к ним относящихся. В связи с этим удобно и необходимо ввести новое понятие, с которым нам всюду придется в дальнейшем иметь дело. Я буду называть совокупность организмов, сведенных к их весу, химическому составу и энергии, *живым веществом*¹. Совокупность живых организмов одного и того же вида или расы я буду называть *однородным живым веществом*, видовым или расовым. Совершенно

¹ Сейчас (1936 г.) надо, помимо веса, химического состава и энергии, принимать во внимание характер пространства, занятого неделимым (диссимметрия).

так же, как в геохимии, и в минералогии мы сталкиваемся с организмами, с жизнью, исключительно в форме живого вещества.

Я не буду здесь касаться тех выводов, которые вытекают из изучения с этой точки зрения живой природы. Я надеюсь скоро иметь возможность сделать это в том труде, над которым работаю эти годы. Но, во избежание недопониманий, я хочу сейчас отметить, что в геохимии живое вещество, взятое в целом, не целиком может быть сведено – точно и определенно – к химическому составу, весу и энергии. Во всех химических процессах земли и очень ярко в геохимии, в истории всех указанных химических циклических элементов, и даже всех остальных, чрезвычайно резко проявляется в последние тысячелетия новая геологическая – и геохимическая – сила: работа культурного человечества, вносящая новое, резко отличное от прошлого, в ход химических процессов земли. Она теснейшим образом связана с сознанием, которое сейчас ни один строго мыслящий натуралист – научно, не философским путем – не может приравнять к тем параметрам живого вещества, которые выше указаны, – к составу, весу и энергии¹. И в то же время человечество – и культурное особенно – есть однородное живое вещество, которое, в отличие от других однородных живых веществ, сохраняя старые формы проявления в геохимических процессах, проявляется в них еще новым, более мощным образом...

Из этих проявлений живого вещества я остановлюсь только на его составе. Каков состав живого вещества? Знаем ли мы его и можем ли мы о нем говорить так же, как мы говорим о составе, например, минералов или горных пород? Я имею в виду сейчас только элементарный химический состав.

По отношению к нему необходимо признать, что мы сейчас переживаем глубокий перелом в наших воззрениях. Еще недавно казалось более важным знать состав организмов с точки зрения строящих их ткани соединений, а не с точки зрения их химических элементов. Ведь огромное количество этих элементов входит в состав организма в ничтожных долях и, казалось, что эти мелкие дробы процента, десяти- и стотысячные его доли, можно было оставить в стороне, что они не должны влиять на живой организм. Но теперь наша мысль находится в другой области впечатлений и идей. Каждый химический элемент для нас теперь есть особого строения атом, и его свойства, появляющиеся в химических соединениях, связаны с поверхностными свойствами атома. Мы проникаем теперь так глубоко в строение атома, как никогда не проникала обычная химия соединений – молекулярная химия. Присутствие или отсутствие, большое или малое количество атомов разного строения в любом природном теле, в том числе и в организме, не может не быть важным, если только это явление повторяющееся, не случайное. Именно этим резким отличием атомов разных химических элементов друг от друга, которое мы можем точно изучать, наше современное атомистическое мировоззрение глубоко отличается от былых атомистических схем мира – философских, религиозных или научных. Но мы не только изменили наше представление об элементе, мы поняли огромное значение ничтожных, с нашей точки зрения, количеств в космосе. Создался цикл таких наук, как радиохимия, работающих в области ничтожных количеств, изучающих их огромные эффекты. Мы

¹ И характеру пространства.

научились отрешаться от антропоцентрического, не реального представления о большом и малом в природе.

Мы переходим от старых представлений в новое научное мировоззрение, но еще в него не вошли. Наши фактические знания о химическом составе организмов связаны со старым и не отвечают новому. Сейчас начинает изменяться в этой области наше знание, и через немного лет мы выйдем из того положения, в каком сейчас находимся. Но сейчас, когда геохимик, изучая историю химических элементов, переходит из области минералов и горных пород в область живого вещества, он переходит как бы в другую научную среду, которая отвечает тому знанию химического состава природных тел, какое существовало в минералогии лет семьдесят, восемьдесят, а в петрографии – лет сорок, тридцать назад. Работа эта чрезвычайно затруднена неполнотой, неточностью и случайностью фактического материала. Это надо иметь в виду при всем дальнейшем изложении.

II

Первый вопрос, который стоит перед нами, заключается в том, какие элементы постоянно и неизменно находятся в живом веществе, т.е. могут быть найдены при достаточно точном исследовании в каждом организме. Вопрос этот был поставлен наукой давно, почти сто лет назад, и решался двумя путями: с одной стороны, анализом, изучением находжений элементов в живом организме, а с другой – опытом, причем пытались заставить жить те или иные организмы в среде с полным отсутствием определенного химического элемента. Я не буду останавливаться на долгой истории этих представлений, на смене воззрений. Отмечу только окончательный результат. В общем несомненно, что количество химических элементов, постоянно находящихся в организмах, постоянно увеличивается в сознании человечества, и в сводках (например Мазэ, Абдергальдена, Осборна – 1917–1919 гг.) подходит к числу 20 или превосходит его. Но легко убедиться, что эти сводки ныне не охватывают всего материала опыта и наблюдений. В действительности количество таких элементов чрезвычайно велико. По-видимому, каждое живое вещество так или иначе содержит в себе, постоянно и не случайно, огромное количество известных нам типов атомов.

Идя эмпирическим путем и критически проверяя даваемые указания, приходится признать, что по крайней мере около 60 химических элементов (на 1936 г.) констатировано во всех организмах. Это будут, кроме циклических (указанных выше), которые, несомненно, находились во всяком организме, в котором их искали, напр., еще следующие: Се, Ве, Nb, Ar – всего, по крайней мере, более 60–70. Но мы должны принять во внимание, что такие элементы, как J, Br, Li, принадлежат к очень оригинальной и своеобразной группе 10 химических элементов¹, проникающих всю земную материю, находимых во всяком теле, где их ищут. Это так называемые элементы рассеяния. Надо

¹ О разном характере химических элементов в земной коре см. мою статью «Химические элементы и механизм земной коры» [2, с. 31] и [1, с. 184]. [Здесь и далее по тексту всего раздела в квадратных скобках заключены номера литературных источников, не вошедших в подстрочные примечания. – См. Литературу к «Биогеохимическим очеркам» в настоящем издании (с. 351–354). – *Ред.*]

думать, что все они (т.е. Br, Cs, Ga, In, J, Li, Rb, Sc, Ti и Y) будут найдены во всех организмах. В то же самое время Се принадлежит к группе 15 известных элементов редких земель, обычно всегда находящихся в минералах и горных породах вместе. Ни одного, например, чисто цериевого минерала не было встречено. Точно так же присутствие Ra заставляет предполагать нахождение элементарных продуктов его распада, а может быть, и исходных для него химических элементов. В конце концов ясно, что большая часть химических элементов должна найтись – не случайно, а постоянно – в живом веществе.

Мы знаем, что организмы не случайно берут наблюдаемые в них элементы. Есть ряд приспособлений в их структуре и в их жизни, которые обуславливают захват ими того или иного химического элемента, в том или ином количестве в их среду и образование из него нужных ему продуктов, в конце концов, с помощью космической энергии, полученной ими из солнечных лучей. Это достигается процессами питания и дыхания, которые изучены почти исключительно с точки зрения их значения для отдельного организма, для понимания его физиологии. Статистический эффект влияния живого вещества на окружающую среду этим путем мало привлекал к себе внимание, а в общей форме, с точки зрения связанных с этим эффектом свойств организмов, и совсем не останавливал на себе внимания ученых последних поколений. Мы можем найти следы этих исканий только у старых натуралистов: в XVIII веке у знаменитого петербургского академика К. Вольфа, в начале XIX века у польского крупнейшего врача-мыслителя А. Сьнядецкого. Они пытались видеть в этом извлечении из окружающей среды определенных химических элементов путем дыхания и питания организмов, проявление особых, свойственных только живому, как бы космических сил.

Несомненно, этими проявлениями жизни могущественным образом нарушаются в земной коре все химические реакции. Благодаря им главным образом история химических элементов совсем иная, чем какой она была бы, если бы химия земной поверхности обуславливалась только составом и термодинамическим полем этой поверхности. Мы знаем, что благодаря этим явлениям огромная часть химических элементов биосферы захватывается живым веществом и направляется в другие русла химической реакцией, чем то, в котором они шли бы в случае отсутствия на земле жизни. Иногда, как например для J или P, временами и местами захватываются в состав живого вещества почти целиком запасы этих тел в биосфере.

Для того, чтобы правильно оценить геохимическое значение живого вещества и отражение этого значения на его составе, необходимо остановиться, однако, не столько на качественной, сколько на количественной стороне явления.

Мы должны, во-первых, знать для этого средний элементарный химический состав всех организмов, живого вещества и, во-вторых, выразить его количественно, знать вес живого вещества. Этот состав и этот вес мы должны связать с весом и составом той среды – земной коры, в которой земное вещество находится. Собственно говоря, самым важным было бы связать вес и состав живого вещества не со всей земной корой, а с проникнутой жизнью ее верхней частью – биосферой. Но этого мы сделать сейчас не можем, не потому что эта задача не разрешима, а потому что не собраны в достаточном

числе необходимые для ее разрешения факты. И те данные, которые мы имеем даже для решения менее сложных вопросов, в высшей степени, как мы увидим, недостаточны.

Дело в том, что и вес живого вещества – и организмов вообще – и их количественный химический состав обращали на себя чрезвычайно малое внимание. Все приводимые мною данные могут иметь значение только как первое приближение к будущему пониманию природы. Но этого первого неточного знания мы должны добиваться, этим путем мы должны идти, ибо только пытаясь установить новый факт, можно вызвать к нему внимание, вызвать критику и поправки и, в конце концов, коллективным путем достигнуть нужного знания.

По отношению к весу организмов основным недостатком является то, что нет достаточного числа среднего для него чисел, полученных из измерений достаточного количества – сотен – неделимых одного и того же вида.

Обычно изучают организм умерший, считают не важной для понимания геохимии проникающую организмы воду, выбрасывают ее из исчислений и этим лишают полученные данные научной точности. Ибо реальным объектом геохимии является живой, здоровый организм, со всей той водой, которая его целиком проникает, пока он жив. Только такой организм и имеет значение для геохимии и только такой входит в состав живого вещества. Чрезвычайно характерно для познания уровня наших знаний, что мы не имеем ни для одного организма прямого определения находящейся в нем воды; мы имеем лишь потерю при высушивании, а между тем не только для животных, но и для растений высушивание даже до 100 °С (не говоря уже об определениях, делаемых, как это бывает, при 105–120 °С) дает совершенно ложные цифры, ибо, с одной стороны, при этом уходят из организма кроме Н и О и другие элементы, а с другой стороны, соединения организма – его ткани – поглощают кислород, окисляются, меняют элементарный состав. Недавние опыты акад. Н.Д. Зелинского показали, что разница в определении в живых пчелах и в пчелах, высушенных до 65 °С, составляет больше одного процента!

Все же, если нельзя иметь числа, можно знать их порядок, отвечающий количеству живого вещества, находящегося в земной коре в каждый данный момент. Я не буду здесь, за недостатком времени, касаться того, как я это делал, но приведу результат, имеющий пока предварительный характер. Исходя из той части земной коры, которая доступна нашему непосредственному химическому изучению, мощностью в 16 км, можно вычислить, что максимальное количество живого вещества в земной коре будет порядка $n \cdot 10^{-1}\%$, вернее $n \cdot 10^{-2}\%$. Эта небольшая дробь является огромной массой вещества – миллионы тонн вещества, которое находится в постоянном и непрерывном изменении, постепенно отдавая окружающей среде в новой форме изытую им из солнечных лучей энергию. Это живое вещество, по прекрасному определению живого организма, сделанному Кювье, представляет совокупность вихрей, постоянно выбирающих химические элементы из окружающей среды и возвращающих их в нее обратно. Есть все данные думать, и этого нельзя не отметить, что количество живого вещества на Земле есть величина постоянная, т.е. одна из констант нашей планеты. Ее точное определение представляет поэтому огромное значение и заслуживает большего внимания, чем сколько оно привлекало к себе до сих пор.

Очевидно, если бы мы вместо всей земной коры взяли ее верхнюю пленку, мы получили бы для процентного содержания живого вещества большие числа. Для биосферы количество живого вещества исчисляется многими долями процента ее веса.

III

Еще более сложным является вопрос о среднем химическом составе живого вещества. Для получения данных необходимы такие знания, которых мы пока не имеем, но мы должны стремиться их получить. Ибо, если бы мы знали средний процентный состав живого вещества, мы могли бы, сравнив его со средним составом атмосферы, гидросферы, биосферы, литосферы, наконец всей земной коры, количественно и энергетически учесть всю работу жизни на Земле в ее космическом аспекте.

Это – задача, вполне окупающая ту большую работу, которую достижение такого знания потребует.

К сожалению, здесь мы можем дать представление только о порядке чисел. Главным недостатком является отсутствие полного элементарного химического количественного анализа живого вещества. Мы не имеем сейчас таких данных, сравнимых, например, с анализом минералов или новейшими анализами горных пород, ни для одного организма. Мы не имеем их даже, например, для такого организма, каким является человек, организм которого изучается уже целые столетия упорным трудом тысяч научных работников, создавших для этого огромные самостоятельные научные дисциплины. При этом для человека в данных демографии и антропологии мы имеем относительно точные представления о весе вещества, составляющего относящееся к нему однородное живое вещество.

Для человека даются, однако, числа его среднего химического состава. Я приведу эти числа здесь, положив в основу исчисления известного анатома и физиолога Фолькмана, дополнив и изменив их более новыми данными (табл. 1).

Таблица 1

Состав [организма] человека

Декада	Содержание, вес. %	Элемент
I	>10	O (65,04), C (18,25), H (10,05)
II	>10 ⁰	N (2,65), Ca (1,4)
III	>10 ⁻¹	P (8 · 10 ⁻¹), K (2,7 · 10 ⁻¹), Na (2,6 · 10 ⁻¹) Cl (2,5 · 10 ⁻¹), S (2,1 · 10 ⁻¹)
IV	>10 ⁻²	Mg (4 · 10 ⁻²), Fe (2 · 10 ⁻²)
V	n · 10 ⁻³	Zn, Si
VI	n · 10 ⁻⁴	Al, Br, Cu, F, Mn
VI–VII	n · 10 ⁻⁵ –n · 10 ⁻⁶	As, J, B, Pb, Ti

Другие элементы или встречаются в меньшем количестве, или не позволяют даже таких приблизительных исчислений. Мы видим, что для состава человека наибольшие сомнения возбуждают данные для элементов, главным образом в нем господствующих.

Из такого состояния наших знаний для наилучше изученного однородного живого вещества ясно, что мы можем иметь лишь самые приблизительные данные обо всей покрывающей нашу планету живой материи. Но я все же эти данные дам, так как из истории знания знаю, что только благодаря тому, что были высказываемы первые конъюнктуры, в конце концов получались точные числа.

Так мы все время шли и в химическом познании земных оболочек, всей земной коры. Исходя из первых, очень приблизительных исчислений В. Филлипса в начале XIX века, мы подошли после столетней работы к несравненно более точным данным нашего времени, которыми мы можем вполне безопасно пользоваться для ряда важных выводов.

Я сравню состав живого вещества, как он сейчас выявляется, с составом земной коры, атмосферы, гидросферы, литосферы, причем отнюдь не буду давать численных величин, хотя это во многих случаях и можно было бы сделать, но дам только порядок чисел. Этот порядок я выражу одинаковым образом, расположив химические элементы по декадам, т.е. по рядам, которые, если считать коэффициенты, отличаются один от другого (рядом стоящего) в 10 раз. Элементы в пределах ряда расположены приблизительно в порядке убывающего значения коэффициентов их количества (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная характеристика химического состава земной коры, гидросферы, атмосферы, литосферы и живого вещества

Декада	Содержание, вес. %	Элемент
Земная кора		
I	10	O (49,5), Si (25,7)
II	1–10	Al (7,5), Fe (4,7), Ca (3,4) Na (2,6), K (2,4), Mg (2,0)
III	10^{-1} – 10^0	{ H (1,0), Ti (0,5), C (0,4) Mn (0,1), Cl (0,2)
IV	10^{-2} – 10^{-1}	S (0,15), P (0,1) N, Ba, B, V, Li, Ni, Sr, Cr, Zr
V	10^{-3} – 10^{-2}	{ Cu, F, Br Be, J, Sn, Co, Th, U, Zn, Pb, Mo
VI	10^{-4} – 10^{-3}	{ Rb, V, Ce Ar, W, Cs, Bi, Co, Hg, Hf, Nd, Sa
VII	10^{-5} – 10^{-4}	{ Cd, Yb, Pr La, As, Nb, Sb, Ag, Se, Te, Ti, Eu
VIII	10^{-6} – 10^{-5}	{ Er, Dy, Ta, Ho, Tu Tl, Au, Pt, Ge, In, Os, Ir, Ga
IX	10^{-7} – 10^{-6}	He, Er, Re, Ru, Rh, Pd
XIII	10^{-11} – 10^{-10}	Ra
	Меньше 10^{-11}	Kr, Xe, Ne, Po, Pa, Ac, Rn
Гидросфера		
I	10^{-1}	O, H
II	10^0	Cl, Na
III	10^{-1}	Mg, S

Таблица 2 (окончание)

Декада	Содержание, вес. %	Элемент
IV	10^{-2}	Ca, K
V	10^{-3}	Br, C, Sr
VI	10^{-4}	B, F
VII	10^{-5}	Si, Rb, Zn, Ba, N
VIII	10^{-6}	Li, J, Fe, As, P, Al, Cu, Mn
IX	10^{-7}	Cs, U
XI	10^{-9}	Ag
XII	10^{-10}	Au
XVI	10^{-14}	Ra
Качественно обнаружены: Ar, He, Ne, Kr, X, Rn, Ni, Co, Pb, Ti, Bi, Sn, Mo, Ga		
Атмосфера		
I	10^1	N, O
II	10^0	Ar
III	10^{-1}	H
IV	10^{-2}	C
V	10^{-3}	Cl, Na, S
VI	10^{-4}	Mg, Ca, Ne
VII	10^{-5}	P, Kr
VIII	10^{-6}	He
IX	10^{-7}	X, Y
X	10^{-8}	Rn
Литосфера (по Кларку, 1924)		
I	10^1	O, Si
II	10^0	Al, Fe, Ca, Mg, Na, K
III	10^1	Ti, H, C, P, S, F
IV	10^2	Ba, Mn, Cl, Sr
Живое вещество		
I	10^1	O, H
II	10^0	C
III	10^{-1}	P, Si, K, Ca, N
IV	10^{-2}	S, Mg, Fe, Na, Cl, Al, P
V	10^{-3}	Mn, B, Sr
VI	10^{-4}	Cu, Ti, Zn, Li, Ba, Br
VII	10^{-5}	Ag, F, Rb, Sn, Ni, As, Mo, Co, J, Ge
VIII	10^{-6}	Pb
	10^{-7}	–
	10^{-8}	Hg
	10^{-9}	Ag
	10^{-10}	Au
	10^{-12}	Ra

Даже из этой таблицы ясно резкое влияние, какое имеет живое вещество на распределение химических элементов, его отличие от земных оболочек. В действительности его влияние гораздо больше, ибо живое вещество в значительной степени обуславливает состав верхней оболочки земной коры, в частности атмосферы и гидросферы. Достаточно вспомнить, что весь свободный кислород атмосферы, составляющий подавляющую массу ее кислорода, доставляется только живым веществом, так как нам неизвестно ни одной реакции, выделяющей свободный кислород в земной коре, кроме выделения его зелеными хлорофиллсодержащими организмами во время синтеза ими органического вещества. В то же время есть тысячи химических реакций, его поглощающих. Если бы не было хлорофиллоносных организмов, свободного кислорода в атмосфере давно бы не было.

Эта таблица удобна, однако, только для получения общего впечатления. Более подробный анализ состава живой материи указывает нам на чрезвычайные приспособления организмов для исполнения определенных химических функций в земной коре, вернее в биосфере.

IV

Химический состав организмов колеблется едва ли не менее, чем состав минералов, по крайней мере господствующих. Мы обычно этого не сознаем, так как биология до сих пор проникнута отголосками старых натурфилософских представлений об едином общем субстрате жизни – протоплазме, общей и животным и растениям. Очень долго внимание биологов не направлялось в сторону различия отдельных животных и растительных видов по их химическому составу. Основная идея физико-химических наук, идея о том, что форма тела, его морфология, находится в теснейшей связи с химическим составом, от него зависит, может быть им объясняема и из него выводима, охватывает биологию только теперь. Только теперь мы ясно начинаем сознавать, что тела, как мертвой природы, так и живой, отличные по своей морфологии – видимой структуре, различны и по химическому составу – структуре, глазом невидимой. При развитии такого сознания ясно, что то положение наших знаний о химическом составе живого вещества, какое мы переживаем, отойдет скоро в область преданий, так как ничто не указывает, чтобы это различие касалось только различия в соединениях элементов. Наоборот, все указывает, что оно касается – и очень резко – элементарного состава живого вещества.

Можно убедиться, что порядок распространения химических элементов в отдельных группах живого вещества резко меняется по сравнению с тем средним составом, который я попытался выразить в этой таблице. Наши знания сейчас недостаточны для того, чтобы дать ясное представление о составе живого вещества в связи с теми делениями его на расы, виды, роды, семейства и т.д., к которым пришли морфологи. Эти группы, по-видимому, не всегда выдерживаются при изучении однородного живого вещества с химической точки зрения, хотя часто особенности химического состава совпадают с данными морфологического, биологического анализа.

Я даю в табл. 3* попытку свести данные – как они мне ныне известны – для тех элементов, для которых это возможно. Несомненно, эта таблица очень неполная, но таково состояние наших знаний. Ее значение, как вся-

кой сводки – возбудить внимание, вызвать критику и пополнение фактического материала. В этой таблице я ввожу новые термины, которых удобно держаться. Организмы, в которых количество какого-нибудь элемента превышает его содержание в среднем валовом составе живого вещества и в то же время для данного организма приводит его в первую декаду, я буду называть по этому элементу, т.е. кремниевыми, железными и т.д., в зависимости от того, какой элемент в них резко преобладает. Организмы, в которых наблюдается не такое резкое преобладание какого-нибудь элемента, но в то же время содержание данного элемента близко или превышает 1% (т.е. приводит его во II декаду), я буду называть организмами (живым веществом), богатыми этими элементами. Таким образом, я делю все однородные живые вещества на *три группы: организмы данного элемента, богатые ими*, наконец, обычные. Между этими группами, по-видимому, нет переходов. Кажется, особенно резко это выражено для I и II групп. Возможны организмы, значительно более бедные данным элементом, которые можно выделить в четвертую группу – *бедных* данным элементом. Насколько можно видеть из имеющихся данных, распределение живого вещества по элементам следующее (табл. 3).

Я не буду останавливаться на выводах из этой таблицы; скажу лишь несколько слов. Мы видим, что пока известны следующие (закрывающие больше 10% какого-нибудь элемента, помимо кислорода и водорода, которые в среднем всегда содержатся в таких количествах) организмы: кремниевые, алюминиевые, железные, кальциевые, магниевые, бариевые, марганцевые, серные, стронциевые, фосфорные, углеродные, т.е. такие организмы известны уже для 11 химических элементов. Нельзя забывать, что этот материал собран случайно, так что едва ли можно сомневаться, что дальнейшая работа укажет многое новое в этой области. В то же время для следующих 12 элементов мы имеем организмы, скопляющие их в количествах, превышающих 1% по весу живого организма помимо обычных (C, N, Ca): Si, Al, Fe, Mg, K, Na, Cl, Zn, P, Br, J, Mn. И тут мы должны ждать новых открытий. Так, есть ряд данных, что такие, богатые отдельными элементами организмы окажутся для V, когда будет произведен их анализ, вероятно и для меди.

Сводя вместе все данные, мы видим, что в первой и второй декадах в живом веществе могут быть следующие элементы:

I. O, H, C, Si, Al? Fe, Ca, Mg, Ba, Mn? S, Sr, P?

II. C, N, Si, Al, Fe, Mg, K, Na, Cl, Zn, P, Br, J, Mn, S, V, Cu

Эти скопления не случайны. Мы знаем, что такая собирательная функция организмов резко выражается в геологической истории Земли, в скоплении различных горных пород и минералов – известняков, полировальных сланцев, кремней, углей, торфов, бурых железняков, медных руд и т. п. Элементы, которые скапливаются таким путем организмами, извлекаются ими, концентрируются из окружающей среды. Это ярко сказывается, если мы сравним организмы морские (или вообще водные). Мы увидим, что для целого ряда химических элементов они играют роль концентраторов. Так, мы имеем:

	<i>Живое вещество, %</i>		<i>Вода морская, %</i>
Si ...	$n \cdot 10^{-1}$	до $n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-5}$
Al ...	$n \cdot 10^{-1}$	“ $n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-4}$ до $n \cdot 10^{-6}$
Fe ...	$n \cdot 10^{-1}$	“ $n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-6}$
Ca ...	$n \cdot 10^{-1}$	“ $n \cdot 10^{-2}$ и выше	$n \cdot 10^{-2}$
K ...	$n \cdot 10^{-1}$	“ $n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$
P ...	$n \cdot 10^{-3}$	– $n \cdot 10^{-1}$	$n \cdot 10^{-6}$

Несомненно, для некоторых элементов, как Cl, Mg, Na, мы имеем обратное явление – и, это как раз отражается на всей их истории.

Я не имею возможности дальше на этом останавливаться, но хочу высказать еще несколько соображений, которые можно сделать из приведенных фактов. Я не буду далеко от них отходить.

V

Прежде всего из изложенного ясно, что химический элементарный состав организмов теснейшим образом связан с химическим составом земной коры; организмы приноравливаются к нему, исполняют в истории земной коры определенные функции. Их состав, как и их геологические функции не случайны. Удивительно, что эти функции остаются неподвижными в геологической истории. Менялся коренным, но закономерным образом органический мир от первых его остатков альгонкской эры, нам известных, до современного. Морфологические изменения резкие. Но химически его состав не мог подвергаться большим изменениям, так как на всем протяжении протекших с тех пор миллионов лет мы видим образование тех же минералов; во все время шли те же циклы химических элементов, какие мы видели сейчас. И в образовании этих минералов в истории этих циклов неуклонно участвовало живое вещество. Для нас ясно, что существовали в течение этого времени морфологически различные, но все те же кальциевые, кремниевые, железные, магниевые и другие организмы, химически производящие ту же работу, какую производят сейчас их химические, не морфологические, аналоги. Если бы этого не было, мы нашли бы в разных геологических формациях разные минералы, как мы нашли разные организмы. Но этого нет. Минералы повторяются в разных геологических формациях от археозойской эры до современной.

Не является случайным и то, что в течение долгих миллионов лет в химии земной коры, в истории химических элементов эволюция органического мира не отражалась заметным образом, и только теперь, в нашу геологическую эпоху, мы видим резкое изменение в этом отношении, связанное с появлением нового организма – человека, создавшегося длинным эволюционным путем и оказывающегося небывалым раньше в истории планеты *геологическим фактором*. Появление на Земле культурного человечества, овладевшего благодаря земледелию основным субстратом живой материи – зеленым растительным веществом, начинает менять химический лик нашей планеты, конца, размеров и значения чего мы не знаем.

Я не могу сейчас останавливаться на этом новом явлении. Ясно только одно, что и это явление так же мало случайно, как и все то, что мы видим кругом, ибо, если бы даже мы пытались строить, как это иногда делают, мироздание и, в частности, эволюцию на случайных совпадениях из явлений, не связанных между собой, но кажущихся нам закономерными, какими

Содержание химических элементов в организмах

Содержание, вес. %	Примеры организмов	Примечания
I. Кремний		
1. Кремниевые организмы – анализов мало: более 10%	Диатомеи (например, Chaetoceras, Rhizosoleniae и др.). Silicoflagellatae (например, Dictyochaе), Heliozoa, некоторые кремниевые Clathrulina и песчаные Foraminifera (например, Polymorphina silicea, Rhabdammina). Кремниевые губки. Ферробактерии (?). Радиоларии.	
2. Богатые кремнием организмы: Около 1–2% Si в живом веществе	Злаки (например все культурные злаки и т.п.). Хвощи (например Equisetum Telmateja, (минимум 2% Si в живом веществе). Некоторые лишайники (Variolaria adealbata >2% Si). Некоторые Ericaceae (Erica – tetralix – до 1% Si). Сурепеае и многие др.	Едва ли можно сомневаться, что дальнейшие работы откроют нам здесь многое, чего мы сейчас себе не представляем
3. Обычные организмы: $n \cdot 10^{-1}$ – $n \cdot 10^{-3}$ % Si	Большинство растений, многие семена, например овес – до $6,0 \cdot 10^{-1}$ % Si Позвоночные организмы, например овца – $9 \cdot 10^{-3}$ % Si	
II. Алюминий		
1. Алюминиевые организмы	Crenothrix ochracea – 17,7% Al	Если верны анализы Джансона, Crenothrix должна быть отнесена сюда
2. Богатые алюминием организмы: до 2% Al	Лусородиаеае. Водоросли. Некоторые Proteaceae? (Oritis excelsa) и многие гидрофиты и водные растения.	
3. Обычные организмы: $n \cdot 10^{-1}$ – $n \cdot 10^{-5}$ % Al	Все другие организмы	
III. Железо		
1. Железные организмы: свыше 20% Fe	Железобактерии. Некоторые Foraminifera (например, Naplophragmium latidorsatura – до 1,4% Fe). Некоторые Desmidiaceae. Некоторые водоросли из Conferva, Oedogoniaceae	Может быть, помимо железобактерий, некоторые другие бактерии.
2. Богатые железом организмы	Некоторые лишайники; Tгapa natans; многие водные растения	Может быть, некоторые инфузории
3. Обычные организмы: $n \cdot 10^{-1}$ – $n \cdot 10^{-3}$ % Fe	Большинство семян. Овца, бык, мышь до $n \cdot 10^{-2}$ % Fe; водоросли – $n \cdot 10^{-2}$ % и многие другие организмы	
IV. Кальций		
1. Кальциевые организмы: содержание Ca до 37–38% и может быть даже больше	Многочисленные и разнообразные водоросли: Coccolithophoridae, Chromococcaceae (например, Gloeocapsa). Characeae, Dasycladaceae, Dictyotales, Corallinaceae, Oscillatoriaceae, Rivulariaceae, Oedogonaceae, Codiaceae	

Таблица 3 (продолжение)

Содержание, вес. %	Примеры организмов	Примечания
2. Богатые кальцем организмы: до 25% Ca (бык – 1,15% Ca).	(например, Halimeda), Lithothamnium и т.д. Mollusca, Foraminiferae, Brachiopoda. Некоторые Crustacea (например, Cypris). Трубочки некоторых Annelidae (например, Serpula). Echinodermata, Bryozoa, Anthozoa. Некоторые бактерии (Bacterium calcis) Млекопитающие, большая часть позвоночных. Большинство водорослей (например Cladophora и др.), Zostera. Лишенные раковины моллюски. Лишайники. Многие цветковые растения. Некоторые голотурии и т.д.	
3. Обычные организмы: $n \cdot 10^{-1}$ – $n \cdot 10^{-2}$ % Ca	Разнообразные представители флоры и фауны из разных классов	Есть, по-видимому, организмы, очень бедные кальцием, например некоторые грибы
V. Магний		
1. Магниевые организмы	Литотамниевые водоросли (например, Lithophyllum, Corallina officinalis и др.)	
2. Богатые магнием организмы	Некоторые Bryozoa, трубки некоторых Annelidae (Serpula). Некоторые Coelenteratae, например Alcyonaria.	
3. Обычные организмы: $n \cdot 10^{-2}$ – $n \cdot 10^{-1}$ %	Большинство растительных организмов – $n \cdot 10^{-1}$ %	Магниевых и богатых магнием наземных организмов не было найдено.

Таблица 3 (продолжение)

Содержание, вес. %	Примеры организмов	Примечания
<p>VII. Натрий 1. Богатые натрием организмы. Около 1% натрия? 2. Обычные организмы: $n \cdot 10^{-1}$– $n \cdot 10^{-3}$% Na</p>	<p>Большинство морских водорослей: Fucus, Laminaria и др. Флора солончаков (Salsola, Salicornia herbacea, Plantago maritima и многие другие галофиты) Большинство других растений и животных.</p>	
<p>VIII. Хлор 1. Богатые алюминием организмы: около 1% Cl 2. Обычные организмы: $n \cdot 10^{-2}$– $n \cdot 10^{-3}$% Cl</p>	<p>Галофиты морских берегов: Chenopodiaceae, Frankeniaceae, Plumbaginaceae, Arenaria media. Особо Salsola Rali, Salicornia herbacea. Все другие организмы</p>	
<p>XI. Азот 1. Бедные азотом организмы</p>		
<p>X. Барий 1. Бариевые организмы 2. Обычные организмы</p>	<p>Корненожки их Xenophyophora Некоторые губки из Cornucospongidae (например Euspongia) может быть некоторые Alcyonariae (например, Gorgoniidae)</p>	<p>Точно так же, как для углерода, и здесь можно выделить бедные азотом организмы, например все богатые водой (до 90%) морские организмы. Бедны азотом наземные растения, заключающие в общем $n \cdot 10^1$% N. Есть указания на азотные организмы, например нитробактерии (Осборн). К сожалению, фактических доказательств в анализах мы не имеем В большинстве организмов барий находится в следах</p>
<p>XI. Бром 1. Богатые бромом организмы: может быть, процентное содержание Br не дойдет до 1%?</p>		

Таблица 3 (продолжение)

Содержание, вес. %	Примеры организмов	Примечания
2. Обычные организмы: $n \cdot 10^{-1}$ – $n \cdot 10^{-3}$ % Br	Морские водоросли, морские животные	
XII. Иод		
1. Богатые иодом организмы: до 1% иода	Некоторые тропические губки: из Cornucospongidae, например Euspongiae, Hippospongia. Некоторые Alcyonariae, например Gorgonia Cavolini и др. Coelenterata. Морские водоросли Laminaria, Fucus. и др. В красных водорослях – Phyllophora и др.	
2. Обычные организмы: наземные: $n \cdot 10^{-4}$ – $n \cdot 10^{-6}$ % J. морские: $n \cdot 10^{-3}$ – $n \cdot 10^{-5}$ % J.	Большинство растений и животных	
XIII. Марганец		
1. Марганцевые организмы?	Некоторые Leptothrix, некоторые диатомовые (из Cosconeis)	По-видимому, сюда относятся некоторые из железобактерий
2. Богатые марганцем организмы: до 1% Mn	Некоторые ржавчинные грибы (Secale cornutum), Zostera maritima, Trapa natans и многие водные растения, например Lemnae и т.д.	
3. Обычные организмы: растения: $n \cdot 10^{-1}$ – $n \cdot 10^{-2}$ % Mn.		
XIV. Сера		
1. Серные организмы	Некоторые из серных бактерий, выделяющих самородную серу	
2. Обычные организмы: $n \cdot 10^{-1}$ – $n \cdot 10^{-2}$ % S. животные: $n \cdot 10^{-1}$ % S?	Большинство растений и животных	
XV. Стронций		
1. Стронциевые организмы	Некоторые из радиолярий (из Acantharia, Podactinellius sessilis)	
XVI. Цинк		
1. Богатые цинком организмы: около 1% Zn.	Микрофлора около цинковых источников (например, Sterigmatocytes niger). Очень богатые ($n \cdot 10^{-1}$ % Zn): Thtaspi calaminaria, Armeria vulgaris и т.д.	Много цинка в растениях на галмейных почвах, в частности в так называемой галмейной флоре
2. Обычные организмы: растения: $n \cdot 10^{-3}$ – $n \cdot 10^{-4}$ % Zn. животные: $n \cdot 10^{-3}$ – $n \cdot 10^{-4}$ % Zn.		

Таблица 3 (окончание)

Содержание, вес. %	Примеры организмов	Примечания
XVII. Фосфор 1. Фосфорные организмы 2. Богатые фосфором организмы. Около 1% Р 3. Обычные организмы: $n \cdot 10^{-3}$ – $n \cdot 10^{-10}$ % Р. животные: $n \cdot 10^{-1}$ % Р.	Дрожжи. Некоторые трубки Annelidae (Onuphis и т.д.). Все позвоночные. Некоторые мелкие Copeoda и т.д. Все остальные организмы	Может быть, сюда надо выделить некоторые из организмов, вроде Lingula, скелет раковины которых состоит из фосфата $3Ca_3P_2O_8 \cdot Ca(Cl, F)_2$?
XVIII. Углерод 1. Углеродные организмы 2. Обычные организмы Более 1% С. 3. Бедные углеродом	Особенно многие наземные растения, бедные водой Например многие водные организмы планктона, заключающие до 99,7% H ₂ O	

являются многие статистические законы случая, то не может быть случайным, что единообразно в течение хода бесчисленных веков этому благоприятствует неизменно в одну и ту же сторону течение времени...

Но эти вопросы выходят за пределы моей темы. Я хочу вернуться на более прочную почву фактов. И здесь необходимо обратить внимание на то изменение наших взглядов, которое происходит по отношению к земной коре. Оказывается, что химический состав земной коры, с которым так тесно и неразрывно связано живое вещество в своем составе, не вызывается геологическими причинами. Он обусловлен свойствами атомов. И хотя мы объяснить этого не можем, факт мы должны констатировать. Сперва в 1914 г. Оддо в Павии, потом Гаркинс в Чикаго указали, что земная кора составлена из элементов, атомы которых обладают особыми свойствами. Большая часть, 86,7% по весу, земной коры состоит из атомов, отвечающих элементам четных атомных чисел менделеевской периодической системы. Это те атомы, ядро которых обладает четным количеством положительных зарядов, богато ядрами гелия. Едва ли можно было бы думать здесь о случайности, так как количество атомов четного и нечетного числа одинаково и преобладание одного их рода должно быть чем-нибудь вызвано. Когда Гаркинс обратился к другим небесным телам, над которыми сейчас возможно сделать этот подсчет, – к метеоритам, то там это явление выражено еще более резко – 98,7% по весу метеоритов составлено из элементов такого же характера.

Как бы мы ни объясняли эти явления, ясно, что земная кора в своем составе представляет механизм¹, связанный с характером составляющих ее

¹ В результате дальнейшей работы, я считаю сейчас понятие *механизма* не отвечающим наблюдаемому явлению и обозначаю его понятием *организованности* [1 и 3].

атомов; ее состав обусловлен не чисто геологическими причинами. В этом механизме живое вещество играет огромную роль. Оно, держа в своем составе каждый момент некоторое определенное количество атомов, порядка $n \cdot 10^{-20}\%$ по весу земной коры, все время поглощает лучистую энергию Солнца и переводит ее в те процессы, с которыми связано образование минералов в биосфере. И в то же время в той же поверхностной корке земной коры находятся другие химические элементы, не входящие в состав живого вещества, которые, распадаясь в своих атомах, выделяют энергию, вновь восстанавливающую химические тела – минералы, измененные при содействии живого вещества. Атомная энергия сильно радиоактивных элементов компенсирует то изменение, какое вносится в историю нашей планеты космической энергией Солнца, регулируемой живым веществом. Этим путем 99,6% по весу материи земной коры так или иначе в течение геологического времени находится в непрерывно возобновляемых круговых процессах. И на эту работу в виде живого вещества и сильно радиоактивных элементов в общем используется не более $n \cdot 10^{-10}\%$ всего вещества земной коры – *активного вещества нашей планеты*.

Едва ли можно думать, чтобы подбор входящих в эту активированную материю химических элементов был случаен. А если это так, то не случаен и состав живого вещества, так мало обращающий на себя внимание.

Мне кажется, что наступил час, когда научная работа должна быть направлена в эту сторону. Это вызывается и потребностями биологических наук.

Решать биологические вопросы изучением только одного – во многом автономного – организма нельзя. Организм нераздельно связан с механизмом земной коры и должен изучаться в тесной связи с изучением земной коры. Автономный организм вне связи с земной корой реально в природе не существует. Его – для его понимания – надо брать в его среде, в земной коре¹.

Связь состава организмов с химией земной коры и то огромное – первенствующее – значение, которое имеет живое вещество в механизме земной коры, указывает нам, что разгадка жизни не может быть получена только путем изучения живого организма. Для ее разрешения надо обратиться и к его первоисточнику – к земной коре. А то, что состав земной коры определяется не геологическими причинами, а свойствами атомов, ясно указывает, что в явлениях жизни сказываются свойства не только одной нашей Земли.

О НИКЕЛЕ И КОБАЛЬТЕ В БИОСФЕРЕ*

В недавнем сообщении Бертран и Мокранья обратили внимание на очень интересную проблему. Они указали на постоянное присутствие никеля и кобальта в почве и в первый раз определили их количество².

Присутствие никеля и кобальта было установлено впервые в поверхностных слоях Земли в 1854 г. датским натуралистом И. Форхгаммером³. В 1870–

¹ Правильнее в биосфере.

* Впервые опубликовано в: Sur le nickel et le cobalt dans la biosphere//Comptes rendus Acad. Sci., Paris, 175, 1922, 382–385. (Перевод с французского М.А. Драгомировой); в дальнейшем в: Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. С. 115–117.

² G. Bertrand et Mokragatz. Comptes rendus, 175, 1922, 113–114.

³ I. Forchhamer. Ann. Phys, 95, 1855, 73 сл.

1890 г. было обращено внимание на проблему присутствия никеля в космической пыли.

Эти исследования пролили свет на большое рассеяние никеля на всей земной поверхности. Возможно заранее предположить его присутствие в организмах, в живом веществе. В отношении никеля и кобальта следует еще принимать во внимание особые обстоятельства, которые нас заставили искать там их присутствие.

Эти элементы относятся по своим геохимическим реакциям, по своим первичным и, частично, вторичным минералам к изоморфному ряду магния, и в химии биосферы этот изоморфный ряд проявляется также в процессах, которые обнаружены в организмах.

Элементы, входящие в этот изоморфный ряд, дают начало аналогичным химическим явлениям и соединениям со сходными функциями в неорганической природе и в организмах.

Таким образом, в биохимии металлы этого ряда: Mo, Fe, Si, Zn и Mn, как мы это видим все ясней и ясней, играют во многих отношениях одинаковую роль и в различных группах органического мира выполняют аналогичные функции, замещая друг друга.

Во множестве пигментов белкового комплекса, которые играют громадную роль в физиологических процессах животных и растительного царства, – в хлорофиллах, гемоглобинах, гемоцианинах, гемосикотипинах, пиннаглобинах и т.д. – металлы этого изоморфного ряда не только необходимы для их образования, но и связаны аналогичным образом с другими химическими элементами соединения.

В то же время некоторые другие из их проявлений в течение физиологических процессов напоминают во многих чертах обычные факты химического сходства, присущие элементам или их группам, принадлежащим к тому же изоморфному ряду.

Такое особое положение только этих пяти металлов в том же изоморфном ряду заставляет считать, что и другие члены ряда должны обнаружиться аналогичным образом в химических процессах живого вещества.

Этот ряд, базирующийся на минералогических данных, содержит в себе следующие элементы¹: Mo, Fe, Zn, Cu, Mn, Ni, Co, может быть In.

Ни для индия², ни для кадмия мы не располагаем каким-нибудь наблюдением, обнаруживающим их присутствие в организмах.

¹ Необходимо во время наших исследований изоморфных рядов химических элементов принимать во внимание термодинамические и другие условия среды, в которой происходят химические реакции. Изоморфный ряд может существовать только в определенных границах, и не нужно учитывать элементы земной коры, состоящие из соединений, которые не были в нем наблюдаемы. Вот поэтому было бы ошибочно принимать во внимание бериллий как принадлежащий к этому ряду в процессах земной коры. К этому ряду принадлежат Ca, Ba, наблюдаемые исключительно в нескольких группах определенных минералов (например, в пироксенах и амфиболах) и которые, вероятно, не являются частью этого ряда в живом веществе.

² Индий, кажется, занимает особое место. Его максимальное количество в минералах немного больше 1%. Он находится в состоянии большого рассеяния и принадлежит к своеобразной группе химических элементов, образуя молекулы (химические соединения) только в исключительных случаях и иногда совсем их не образуя в определенных термодинамических полях земной коры. Об этой группе из 10 химических элементов (все с нечетным атомным числом) см. мою статью в «Природе», 1922; ср. также: The Nature, 110, № 3–5, 1922.

Что касается индия, то, принимая во внимание его исключительную роль в истории земной коры¹, можно думать, что организмы не содержат его в концентрированном состоянии. Наоборот, для кадмия случай совсем другой, его присутствие, вероятно, будет обнаружено в организмах, когда его будут там искать.

Но, с другой стороны, индий, ввиду того, что он находится всюду в рассеянном состоянии, должен быть найден в состоянии следов и в организмах, и его полное отсутствие показало бы факт, необычный в его истории. Присутствие никеля и кобальта было доказано в организмах, морских водорослях, золе деревьев (дуб) в 1854 г. И. Форхгаммером².

Кроме того, случайно натолкнулись на другие одиночные факты их присутствия, главным образом в растениях.

Но эти указания не дают никакой общей картины, и важность никеля и кобальта для жизни организмов не может считаться доказанной.

Постоянное присутствие этих элементов в живом веществе не установлено³.

Принимая во внимание указанные выше соображения, я начал в Киеве в 1918–1919 гг. (с помощью Украинской Академии наук) исследования на их присутствие в организмах. К сожалению, трудные условия гражданской войны, расстройство жизни не позволили мне ни кончить работ, ни продолжить их в широком масштабе, как они были начаты.

Как бы то ни было, никель и кобальт были открыты во всех организмах, которые исследовались. Чтобы их найти, принимали все необходимые меры предосторожности, употребляя реактив профессора Л.А. Чушева – диметилглиоксим.

Присутствие никеля и кобальта могло быть установлено количественно в растениях. Они были найдены во всех мхах, изученных в окрестностях Киева⁴.

Мой ассистент М.И. Бессмертная встретила их в следующих растениях в окрестностях Киева: *Plantago media* L., *Ficaria ranunculoides* Roth., *Salvia pratensis* L., *Taraxacum officinale* Wigg., *Avena pubescens* Huds., *Lamium purpureum* L., *Capsella bursa pastoris* Med., *Stratiotes aloides* L., *Lysimachia thyrsviflora* L.

Все эти растения брались целиком с их корнями и цветами, они собирались специально с этой целью, были взвешены и зола была собрана из большого количества экземпляров. Проф. В. Садиков (Институт радия Академии наук в Петрограде) нашел кобальт в *Echium vulgare* L. из Салгирки (Крым).

Опыты И.Л. Старынкевич доказали присутствие никеля (в следах) в золе домашних мышей.

¹ Об истории индия в земной коре см. В.И. Вернадский. Бюлл. Акад. наук, СПб., 1911, 187.

² I. Forchhammer. Ann. phys. 95, 1855, 90, oversight at Danske Vidensk. Selsk. Forhandlingar, 1854, 1855, 398.

³ I.G. Legrip. Ch. medic., 2 Sér., 1841, 120; A. Chevallier et G. Gottereau, Ann. de l'hyg. publ., 42, 1849, 164; H. Osborne. Origin and evolution of life, 1918, p. 54; E. Cornec. Compt. r. Acad. Sci., 168, 1919, 513; F. Czapek, Biolhemie der Pflanzen, 2-te Aufl., 2, Jena, 1920, 504.

⁴ Виды были определены с большой точностью. Я не имею под рукой их названий.

ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО В ХИМИИ МОРЯ*

ВВЕДЕНИЕ

Я хочу в сегодняшнем сообщении остановиться на некоторых, мало обращавших на себя внимание явлениях, изучение которых неизбежно должно будет в ближайшее время резко изменить область химической океанографии [4].

Хотя для меня совершенно ясно, что эти явления имеют огромный интерес с прикладной точки зрения, я оставляю здесь это прикладное их значение в стороне, несмотря на то, что делаю свое сообщение в техническом обществе и что все научное развитие океанографии теснейшим образом связано с ее практическим значением для жизни человека. В океанографии получили широкое развитие как раз те ее области, сознание практического значения которых было ясно для всех. Научная работа в ней связана с физическими и механическими свойствами морей, важными для мореплавания и рыболовства. Так, огромные средства и силы направлены на исследование морских течений, движений моря, его газового обмена, распространения и распределения в гидросфере организмов – живого вещества. Вопросы химической океанографии долгое время стояли в стороне от этого движения, так как, казалось, они не представляли интереса для широких кругов людей, связанных с добычей из моря продуктов жизни. И только в последние годы мы видим ясный поворот в понимании этих явлений, начинает создаваться *химическая технология моря* – научная дисциплина, изучающая химическое приспособление его продуктов для человеческих потребностей.

Но я оставляю в стороне эти новые искания сознательно, исходя из той мысли, что именно для развития приложений химической океанографии, для будущей химической технологии моря в данный исторический момент необходимо прежде всего вызвать широкое проникновение в технику интереса к основным явлениям химической океанографии вне всякого отношения к их прикладному значению. Приложения – и частью неожиданные – возникнут только тогда, когда в кругозор техники войдут новые, чисто научные достижения этой новой, создающейся на наших глазах, отрасли знания.

ГИДРОСФЕРА

Эти новые достижения тесно связаны с теми изменениями, которые сейчас происходят в наших представлениях о строении земной коры, часть которой составляет мировой океан. Земной корой мы называем небольшую верхнюю часть земного шара, как мы знаем, резко отличную от остальной его части и по своему химическому составу, и по физическим, и по механическим своим свойствам. Глубина ее от земной поверхности едва ли превышает 110–120 км, может быть, близка к 80–90 км (изостатическая поверхность), т.е. составляет около 1/60 части земного радиуса¹. Но в этой земной коре мы

* Переработанная стенограмма доклада, сделанного в химической секции Русского технического общества в Петрограде 8 марта 1922 г. Впервые опубликовано под этим названием Научным химико-техническим изд-вом *dir.*, 1923). Опубликовано также в следующих изданиях: *Rev. gen. sci.*, 1924, 35, № 1,5–13; № 2. P. 46–54; Биогеохим. очерки. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 25–46; Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. С. 160–183.

¹ Не считая атмосферы.

химически точно знаем только верхнюю ее часть, на глубину не более 16 км от земной поверхности; только для нее мы имеем неопровержимые точные эмпирические данные. В целом в пределах этой части земной коры лежит мировой океан, химию которого мы изучаем.

Мировой океан не облекает целиком поверхность нашей планеты; он занимает в ней всего около 71,4%. Средняя его глубина около 3,65 км¹, а если оставить в стороне более мелкие моря – прибрежные части континента, то не менее 4 км, причем эта более мощная водная оболочка обнимает не менее 65% земной поверхности.

Из этих чисел ясно, что мировой океан *представляет как бы особую водную оболочку планеты – гидросферу.*

Это представление входит все больше и больше в научное сознание. Корни его могут быть прослежены за пределы XVIII века, когда один из видных французских картографов того времени С. Кларэ де Флериё (comte С. Claret de Fleurieu, 1738–1810 гг.) ввел в науку понятие об едином Великом Океане, охватывающем всю Землю. Отдельные океаны он считал частями единого целого. Но уже много раньше, в XVI веке, было ясно, что вода преобладает на земной поверхности над сушей (Гастальди, 1562; А. Берг, 1579). Однако понятие о Великом Океане, как об особой водной оболочке Земли, могло создаться только в XIX веке, когда выяснились, с одной стороны, большая его глубина (1/4 мощности известной земной коры) и, с другой, колебания его распределения и занятой им площади в течение геологического времени.

Эта связь Мирового океана с земной корой делает понятным, что изменение в нашем понимании земной коры должно чрезвычайно отражаться на всех вопросах химической океанографии.

Количество вещества, захваченного в гидросферу, огромно. Оно составляет около 7% по весу земной коры и исчисляется в $1,4 \cdot 10^{18}$ метрических тонн.

Всю эту массу вещества, входящую в состав океана, мы должны считать частью массы земной коры, по отношению к которой основным, новым достижением науки является вывод, что состав земной коры обуславливается не случайными геологическими или физико-химическими причинами, а свойствами атомов химических элементов, их строением. В общем, в массе земной коры преобладают такие химические элементы, атомы которых имеют четные атомные числа.

Для океана это явление выражено менее резко, чем для всей земной коры, так как в нем играет большую роль водород, который в обычной установке периодической системы занимает первое (нечетное) место. Но мы не должны забывать, что положение водорода в периодической системе элементов совершенно условное, и, может быть, будет правильнее не применять пока к нему понятия об атомных числах. Тогда преобладание элементов четных атомных чисел останется и в океане почти равным наблюдаемому для земной коры.

С химической точки зрения гидросфера состоит из вещества резко различного. С одной стороны, в нее входят живые организмы – живое вещество,

¹ Новые данные – до 3,8 км.

с другой, – косная, лишенная жизни, мертвая материя. История химических элементов в этих проявлениях вещества и их распределение в нем иногда совершенно противоположны.

Сознание необходимости различения этих форм материи при изучении геохимических процессов является новым научным достижением, и его проведение в жизнь приводит к новому пониманию явлений химической океанографии. И оно должно быть положено в основу наших дальнейших рассуждений.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГИДРОСФЕРЫ

Нам известно сейчас в земной коре 90 различных по атомным числам химических элементов из числа 92 теоретически возможных¹.

Из них далеко не все входят как необходимые и обычные, а не случайные, – составные части в морскую воду и в находящееся в океане живое вещество.

Так, в морскую воду, представляющую в общем химически однородную массу, входят из 90 химических элементов около 60. Мы должны сейчас признать, что все эти 60 химических элементов могут быть найдены в каждой капле морской воды, если только методы нашего исследования будут достаточно чувствительны для их открытия. Это основное явление – постоянство, в общем, химического состава морской воды, вне зависимости от океана, в каком взята вода, от географического места и глубины взятой пробы – было отмечено уже первыми исследователями в начале XIX века. На это постоянство указывал уже А. Марсет более 100 лет тому назад (1819 г.), правда для немногих преобладающих элементов. Он уже сознавал, что это постоянство не только качественное, но и количественное.

Но окончательно установлено оно было многолетними блестящими работами датского ученого И. Форхгаммера в 1850–1860-х годах. Дальнейшие работы подтвердили его выводы для всех химических элементов. Форхгаммер констатировал колебания состава морской воды в разное время, в разных местах, на разных глубинах. Но эти изменения значительны главным образом для концентрации раствора, но не для состава солевой массы. Весовые отношения между элементами, в нее входящими, остаются везде и всегда почти одинаковыми.

Отсюда следует, что состав солевой массы моря достиг известного равновесия и заметно не меняется, хотя, как мы знаем, в море постоянно вносятся новые вещества и из него не менее постоянно они выносятся. Новые работы, произведенные на всем протяжении Мирового океана – в Великом, Индийском, Атлантическом, Ледовитом океанах и их морях, подтвердили закон Форхгаммера: солевая масса мирового океана имеет почти постоянный неизменный состав, и в нее входят определенные – далеко не все – химические элементы.

В общем те же химические элементы, 50–60, которые встречены в морской воде, наблюдаются и в живом веществе, в морских организмах. Здесь

¹ В настоящее время известны безусловно 90 и не вполне доказаны 2 (1936 г.). Число химических элементов, обнаруженных в морской воде и ее организмах, по новым данным 1936 г., достигает более 50.

сейчас констатированы более 50 химических элементов, находящихся во всех без исключения организмах, но в отдельных их формах наблюдаются многие другие – наверное гораздо более 40 химических элементов. Это заставляет утверждать, что эти элементы будут найдены и в морской воде, так как организмы берут необходимые им элементы из морской воды.

Различия между мертвой и живой частью гидросферы и качественные и количественные. Состав организмов не отвечает солевой массе воды. Они выбирают из нее нужные им для жизни химические элементы в других соотношениях и этим в конце концов совершают огромную химическую работу в земной коре.

К сожалению, мы не в состоянии сейчас дать точные данные ни для солевого состава, ни для состава морских организмов, ибо мы не можем точно отделить косную морскую воду, лишенную жизни, от живого вещества. В той морской воде, анализ которой сейчас производится, всегда содержатся мельчайшие организмы – бактерии, наннопланктон и т. п., которые проходят через все фильтры, употребляемые для взятия проб для химического анализа. Обычно считается, что количество этого микроскопически мелкого рассеянного живого вещества, остающегося в анализируемой воде, ничтожно по сравнению с ее солевой частью, но это не может считаться доказанным, а в очень многих случаях несомненно неверно.

В действительности анализы морской воды, которые мы имеем, не дают нам ни состава косной, мертвой части морской воды, ни состава реально существующей в природе морской воды, всегда пропитанной жизнью. Они представляют искусственную величину, выражающую состояние наших знаний, а не выяснение реального явления природы. А между тем можно было бы получить и для гидросферы данные, которые давали бы понятие о реальном явлении; этими данными должен был бы являться валовой анализ морской воды – и мертвого и живого его содержимого вместе. Так как отделить живое от мертвого в морской воде мы надело не можем, надо было бы брать для анализов всю воду целиком, не отделяя находящихся в ней организмов. Но таких анализов нет. Приходится пользоваться теми анализами, какие имеются, т.е. анализами воды, из которой удалены относительно более крупные организмы.

Удивительно, что даже для твердой земной коры, пользуясь более чем 6000 анализами горных пород, мы имеем более точное понятие о химическом ее составе, чем для жидкой ее оболочки, для которой известны немногие сотни неполных анализов, пробы для которых, сверх того, взяты, как мы видели, неправильно. А между тем получить точное понятие о составе моря можно было бы очень легко благодаря почти полному постоянству состава мертвого океана.

Это не сделано потому, что нет сознания значения этих чисел, понимания того, что состав океана и состав живого вещества не случаен: что это все некоторые постоянные величины, характерные для нашей планеты, связанные химическими процессами биосферы, характером и строением входящих в нее атомов¹.

¹ Эта задача поставлена сейчас (1936) Биогеохимической лабораторией Академии наук.

Пока нет таких точных данных, обратимся к имеющемуся материалу, все время помня, что он требует поправок, может быть и довольно больших, но едва ли резко меняющих явления, если только мы не будем очень углубляться в анализ этих чисел.

**Химический элементарный состав морской воды
(в вес.%)¹**

O	85,80	Ca	$4,5 \cdot 10^{-2}$
H	10,67	K	$3,8 \cdot 10^{-2}$
Cl	2,00	Br	$6,5 \cdot 10^{-3}$
Na	1,07	C	$3,5 \cdot 10^{-3}$
Mg	$1,4 \cdot 10^{-1}$	Sr	$1 \cdot 10^{-3}$
S	$9 \cdot 10^{-2}$	B	$4,5 \cdot 10^{-4}$
F	$1 \cdot 10^{-4}$	Fe	$5 \cdot 10^{-6}$
Si	$2 \cdot 10^{-5}$	As	$3 \cdot 10^{-6}$
Rb	$2 \cdot 10^{-5}$	P	$5 \cdot 10^{-6}$
N	$n \cdot 10^{-5}$	Al	$<n \cdot 10^{-6}$
Zn	$<1 \cdot 10^{-5}$	Cu	$2 \cdot 10^{-6}$
Ba	$<n \cdot 10^{-5}$	Mn	$n \cdot 10^{-6}$
Li	$7 \cdot 10^{-6}$	Cs	$n \cdot 10^{-7}$
J	$5 \cdot 10^{-6}$		
	Ag	$n \cdot 10^{-9}$	
	Au	$4 \cdot 10^{-10}$	
	Ra	$n \cdot 10^{-14}$	

Из этой таблицы ясно наше недостаточное знание даже состава морской воды, хотя казалось бы точное определение этого состава не представляет особых затруднений и может быть сделано с любой точностью. Надо помнить, что для очень многих элементов в этой таблице мы имеем всего одно-два случайных количественных определения.

СОСТАВ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА

Еще в худшем положении находится вопрос о составе живой части морской воды – живых организмов. Мы не можем здесь дать сколько-нибудь точных чисел, а можем только определить порядок. Мы не можем при этом отделить морские организмы от наземных, хотя ничто нам не указывает на то, чтобы их состав был одинаков.

Не имея лучшего, мы будем пользоваться худшим, так как в общем совершенно ясно различие состава живого вещества – водного и суши – от состава морской воды, даже не вполне от него отделенной.

Современные наши знания об этом составе могут быть сведены в следующей таблице.

¹ Из этого состава исключены: 1) все взмученные частицы, удерживаемые фильтрами; 2) все организмы, удерживаемые фильтрами; 3) большая часть газов, растворенных в воде и 4) все солевые составные частицы, удалившиеся вместе с парами воды при обычных приемах анализа морской воды. Таблица исправлена по данным 1936 г.

Средний состав живого вещества*

Декада	Содержание, вес. %	Элемент	Декада	Содержание, вес. %	Элемент
I	10^{-1}	O, H	VIII	10^{-6}	Pb
II	10^0	C	IX	10^{-7}	—
III	10^{-1}	P, Si, K, Ca, N	X	10^{-8}	Hg
IV	10^{-2}	S, Mg, Fe, Na, Cl, Al, P	XI	10^{-9}	Ag
V	10^{-3}	Mn, B, Sr	XII	10^{-10}	Au
VI	10^{-4}	Cu, Ti, Zn, Ba, Br, Li	XIV	10^{-14}	Ra
VII	10^{-5}	Ag, F, Rb, Sn, Ni, As, Mo, Co, J, Ge			

* По новым данным 1936 г.

Мы видим, до какой степени неполны наши знания, касающиеся одного из важнейших геохимических факторов земной коры.

СРАВНЕНИЕ СОСТАВА МОРСКОЙ ВОДЫ И ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА

И все же мы можем сделать немаловажные выводы из сравнения этих таблиц. В первой декаде мы наблюдаем те же химические элементы (O и H). Уже со второй и до конца начинается резкое расхождение. В одной декаде, т. е. приблизительно в одинаковых процентных количествах, находятся только сера (IV декада — $n \cdot 10^{-2}\%$) и золото (XII декада — $n \cdot 10^{-10}\%$). Все остальные химические элементы находятся в резко иных взаимных соотношениях. Так, хлор резко преобладает в морской воде (II декада) по сравнению с живым веществом (IV декада), где его по крайней мере в 100 раз меньше. Это различие, может быть, несколько преувеличено, ибо жидкости организмов пресноводных и наземных менее богаты натрием и хлором, чем морских, а табл. 1 дает понятие о валовом составе всех организмов, не только морских. Но существенных изменений эта поправка не внесет. В других случаях реальные различия совсем не вызывают сомнений: так, II декада живого вещества указывает на резкую концентрацию в нем таких элементов, как углерод (в морской воде V декада, т. е. в 1000 раз меньше, причем в морской воде часть его входит в оставшиеся в ней при анализе организмы), азот (то же), кальций (в морской воде IV декада, т. е. разница не менее, чем в 100 раз). Для этих элементов, несомненно, не может существовать резкого различия между морскими и пресноводными-наземными организмами.

Сколько можно сейчас судить, мы имеем концентрацию в организмах следующих элементов (по сравнению с их содержанием в морской воде):

S	min	10^2	раз	Cu	min	10^2	раз
P	»	10^3	»	J	»	10^2	»
Si	»	10^3	»	As	»	10^2	»
K	»	10^1	»	B	»	10^1	»
Fe	»	10^3	»	F	»	10^1	»
Zn	»	10^4	»				

Значительные концентрации, которые нельзя сейчас выразить в числах, наблюдаются для AL, Mn, (Pb), Ti, V.

Эта концентрационная работа живого вещества в море выражается, как мы это увидим, для очень многих из этих элементов, в последующем образовании из них минералов, получающихся в результате химических процессов, связанных с гибелью и разрушением организмов после их смерти.

Несомненно, однако, концентрация живым веществом наблюдается не для всех элементов: этого нет для Вг (по крайней мере в заметной степени), Mg, Na, Cl, Ag(?). Эти явления изучены очень мало; к сожалению, мы только что к ним подходим.

Очень любопытную картину представляет история *хлора и натрия*. В морской воде, как мы видели, они собраны в большом количестве, являются господствующими, но в организме их много меньше и их роль совершенно особенная, иная, чем других элементов. Они не дают в организмах никаких органических соединений и не концентрируются ими в других формах, как мы это видим, например для Ca, P или Si. В организмах они находятся вместе как находятся вместе и в морской воде; они входят и выходят через организм одновременно в виде NaCl. Получается впечатление, будто эти химические элементы проходят через организмы, совсем не проникая в идущие в них химические реакции в тех случаях, когда они вносятся одновременно в виде NaCl, например, из морской воды в морские организмы. Когда же они вносятся отдельно в виде других солей, они соединяются в растворах организма вместе, давая опять-таки NaCl, так же как соединяются вместе в морской воде, куда попадают различные соединения натрия и хлора.

В конце концов этим путем в жидкостях тела наземных высших животных натрий и хлор собираются в главной своей части в тех же отношениях 1:1, в каких они собираются в морской воде. Вследствие тех же причин – их инертности – в обоих случаях получаются одинаковые следствия. Мы видим здесь не отражение состава моря в жидкостях организма, как это часто думают, а проявление свойств живого вещества. Нахождение Cl и Na в составе морской воды обуславливается к тому же, как увидим, биохимическими процессами.

Эта близость состава морской воды и жидкостей организмов, главным образом в характере NaCl, давно вызывала различные предположения об отражении в составе этих жидкостей тех солевых масс древних морей, которые существовали в те времена, когда предки этих организмов были морскими организмами. Этим объяснялись наблюдаемые – при известной близости – отличия в солевом составе этих жидкостей от солевого состава теперешней морской воды.

Едва ли есть надобность в этих гипотезах, допускающих иной состав древних морей, на что у нас нет сколько-нибудь серьезных указаний.

Мы здесь видим следствие неоднородности состава моря, присутствия в нем живого вещества. Различие состава морской воды и жидкостей тела организмов связано с разной историей в них химических элементов.

КРУГОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Питанием и обменом вещества организмов, их метаболизмом, создаются в морской воде особые, нигде не существующие химические условия. Химия моря должна резко меняться из-за взаимодействия между живой и мертвой материей, их совместным нахождением. Благодаря этому в океане создается

иная химическая среда, чем та, которая отвечала бы его составу и его термодинамическим условиям при отсутствии в нем жизни.

Химические элементы, входящие в состав организмов, для них необходимые, органогенные, в морской воде составляют 99,7–99,8% ее веса. Все эти элементы обладают одной особенностью – их история в земной коре всегда выражается *круговыми процессами*, т.е. они постоянно проходят через одинаковые формы нахождения, все равно – будут ли это минералы или организмы, и в конце концов возвращаются в те же исходные формы. И эти круговые процессы, иногда очень медленные, иногда быстрые – постоянно повторяются и возобновляются с ходом времени. Эти круговые процессы были давно известны для кислорода, азота, фосфора, серы и т.д., но геохимия скоро показала, что они известны с несомненностью для 50–60 химических элементов (см. [11, стр. 20 и сл.]).

Круговые процессы доказаны, как характерная форма нахождения, для элементов: Ag, Al, As, B, Ba, C, Ca, Cl, Si, Fe, F, H, K, Mg, Mn, N, Na, Ni O, P, Pb, S, Si, Sn, Sr, V, Zn, Ti.

Круговые процессы вероятны, как характерная форма нахождения, для элементов: Bi, Cd, Co, Cr, Hg, Mo, Sb, Se, Te, W и др.

Круговые процессы теснейшим образом связаны с тем, что благодаря геологическим смещениям на земной поверхности постоянно идет переход материи, т.е. химических элементов, из одного места в земной коре в другое. Они попадают из верхних слоев ее в более глубокие, нижние, и обратно. В течение долгих чередований геологического времени такое перемещение неизбежно идет для всего вещества земной коры.

На земной поверхности (на суше до глубины 0,5–1,0 км) химические элементы собираются в особых, здесь образующихся формах минералов, так называемых вадозных, и в организмах. Вся гидросфера целиком является областью вадозных процессов и состоит из образовавшихся при этом вадозных минералов и живого вещества, тоже сосредоточенного только в области вадозных химических процессов, в биосфере.

Вадозные минералы и организмы устойчивы только в той оболочке земной коры, в которой они образуются, т.е. в биосфере, и распадаются, переходят в новые тела, как только они из нее выходят.

Можно различить в верхней земной коре (до 16 км мощностью) еще две другие оболочки – метаморфическую (с *фреатическими*, в ней образующимися и устойчивыми минералами) и магматическую (с *ювенильными*, в ней образующимися и устойчивыми минералами [1, стр. 51]).

Переход вадозных, фреатических и ювенильных образований друг в друга характеризует вечно идущий круговой процесс в истории циклических химических элементов в земной коре. В магматической оболочке значительная часть материи не дает соединений – минералов, а образует расплавленную или полурасплавленную массу, переполненную находящимися под давлением газами, так называемую *магму*.

Круговые процессы характеризуются тем, что свободная энергия их, когда цепь замкнута, равняется нулю и в течение всего процесса она стремится к минимуму. Их отдельные стадии представляют устойчивые равновесия. Для того, чтобы процесс мог возобновиться, необходим приток внешней энергии.

ЭНЕРГИЯ КРУГОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Эту внешнюю энергию, оставляя в стороне частности, природные круговые процессы получают на поверхности земной коры как в биосфере, так и в метаморфической и магматической областях. В первом случае, ее носителями – аккумуляторами – являются земные хлорофиллоносные организмы, собирающие и распределяющие лучистую энергию Солнца, которую они превращают в химическую, и низшие бактерии, непосредственно использующие богатые кислородом вадозные минералы, кислород которых в конце концов добыт за счет той же лучистой энергии Солнца. Во втором случае, источником энергии – тепловой энергии Земли – является атомная энергия, получаемая во время природного радиоактивного распада атомов материи.

Уже давно вошло в общее сознание, что в каменном угле и в других органогенных минералах мы имеем сохраненную ими энергию Солнца, которой и пользуемся, когда мы добываем их для получения из них нужных нам соединений или тепла и механической силы. Но то же самое правильно и по отношению ко всем вадозным минералам, ибо все они прямо или косвенно связаны с живым веществом – аккумулятором той же энергии. Поэтому *во всяком вадозном минерале, во всяком химическом соединении моря мы имеем дело с формой проявления космической лучистой энергии Солнца.*

Захватывая энергию Солнца, живое вещество создает химические соединения, при распадении которых эта энергия освобождается в форме, могущей производить химическую работу. Благодаря этому живое вещество представляет с химической точки зрения активную форму материи, химическая энергия которой может быть превращена в другие формы энергии – механическую, тепловую и т.д. Минералы, химические молекулы, образующиеся при участии живого вещества, тоже являются носителями той же энергии, начало которой лежит в лучистой энергии Солнца. Но эта энергия в минералах находится в потенциальном состоянии.

В организмах, в живом веществе, энергия в значительной мере свободная, производящая работу. Живое вещество есть форма активированной материи, и эта энергия тем больше, чем больше масса живого вещества.

Эта масса незначительна по сравнению со всей массой атомов, строящих земную кору. Вес всего живого вещества, совокупности всех организмов, населяющих наш земной шар, будет выражаться числами порядка $n \cdot 10^{-2}$ – $n \cdot 10^{-1}$ % веса земной коры мощностью 16 км.

Это небольшое количество вещества производит в земной коре огромную работу. Любопытно, что другое активированное вещество в земной коре, производящее не меньшую химическую работу – природные радиоактивные элементы, свободная атомная энергия которых пропорциональна количеству их атомов, – тоже очень невелика по своей массе. Их распад определяет внутреннюю энергию земной коры, их вес выражается еще меньшей дробью: $n \cdot 10^{-3}$ – $n \cdot 10^{-4}$ % веса земной коры. *В конце концов вся активная материя земной коры, энергия которой питает все циклические ее процессы, в сущности больше 99,8% химических изменений, в ней наблюдаемых, – не превышает $n \cdot 10^{-1}$ – $n \cdot 10^{-2}$ % веса земной коры.*

ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО

Возвращаясь к океану мы видим, что он составлен из мертвой, косной и химически активной живой материи. Эта последняя, количество которой в океане сейчас нам неизвестно, но относительно значительно¹, постоянно вызывает в нем самые разнообразные перемещения химических элементов и неустанно поглощает и перерабатывает энергию Солнца.

Из этого ясно, какое огромное значение должно иметь в химии моря живое вещество и до какой степени вся химия моря обуславливается его в нем нахождением.

Я употребляю и здесь и раньше слова «живое вещество». Делаю я это сознательно. Организмы проявляются в геологических, геохимических процессах совершенно иначе, чем мы их изучаем в биологии. Здесь исчезает отдельный организм, теряют свое значение морфологические особенности. В грандиозных процессах природы играют роль массовые скопления организмов, но не их отдельные особи. В геохимических процессах сказывается масса организмов, их химический состав, их энергия. Поэтому я буду рассматривать организмы только с этой точки зрения и буду называть *живым веществом* совокупность организмов, сведенных к их весу, к их химическому составу и к их энергии. Понимаемое таким образом живое вещество совершенно сравнимо с другими телами, имеющими значение в химии земной коры – с минералами, горными породами и жидкостями.

Живое вещество в море, состоящее из циклических элементов, т.е. каждый атом которых принадлежит в истории Земли к какому-нибудь круговому процессу, неизбежно должно находиться в океане в состоянии устойчивого равновесия. Изучив круговые процессы отдельных элементов, входящих в состав живого вещества, распределение их в море и их соотношение с составом моря, мы можем легко получить общую картину химии моря. Основным фактором, определяющим эту химию, является живое вещество.

ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО В ОКЕАНЕ

Первым вопросом, который стоит перед нами, является вопрос о том, сколько живого вещества находится в море и как оно в нем распределено. К сожалению, на эти вопросы, столь простые и естественные, мы не можем дать точных и ясных ответов. Они слишком мало обращали на себя внимание и недостаточно были изучены.

Ясно, что распределение живого вещества – активной материи – в океане очень своеобразно. По всей поверхности океана распространен сплошным покровом мир планктона, мелких, большей частью микроскопических организмов, всегда плавающих вблизи поверхности океана, проводящих на ней всю свою жизнь. В этом планктоне в виде мельчайших одноклеточных организмов рассеяна большая часть того, несущего хлорофилл вещества, которое захватывает лучистую энергию Солнца. Богатая организмами пленка планктона – тонкая и изменчивая, постоянно разрушающаяся и немедленно восстанавливающаяся – тянется на миллионы квадратных километров, имея

¹ Она в несколько раз превышает $n \cdot 10^{-1} - n \cdot 10^{-1}\%$, так как по весу гидросфера составляет 7% веса земной коры, и она является наиболее богатой жизнью ее частью.

обогащенную живым веществом область мощностью до 50 м, кое-где больше. Иногда она подымается к самой поверхности моря, иногда опускается на десятки метров ниже. Отголоски ее, места более бедные планктонным живым веществом, охватывают от поверхности слой воды до 100–200 м. Количество живого вещества в ней достигает местами по весу многих процентов. В ней преобладают одноклеточные зеленые водоросли и многочисленные животные организмы, частью одноклеточные, которые с ними связаны, ибо они строят свое тело из вещества растений, дальше перерабатывая соединения, создаваемые в хлорофильных пластидах. Помимо планктона, на поверхности океана имеются и другие формы скоплений организмов, совершающие не меньшую химическую работу. Таковы всюду рассеянные скопления зеленых и красных высших водорослей, связанных в своем генезисе с прибрежными частями океана, но совершающих свою геохимическую работу на сотни и тысячи километров от берегов суши. Одним из многих, но, может быть, самым ярким проявлением таких образований является Саргассово море в Атлантическом океане, занимающее пространство в сотни тысяч квадратных километров. Оно переполнено самой разнообразной жизнью, еще более интенсивной и сгущенной, чем обычные скопления планктона.

Еще большие скопления жизни видны на границе океана и суши, на многие десятки и сотни километров около континентов, около островов, над мелями и на многочисленных мелях. Здесь мы видим необычайный расцвет жизни; использован для нее всякий доступный уголок, организмы проникают друг друга. Интенсивность метаболизма химических элементов местами достигает наибольших известных нам размеров. Эти прибрежные области, богатые жизнью, простираются до глубины 300–400 м, куда ясно проникает солнечный луч, и отходят от границ суши на определенные расстояния в зависимости от рельефа берега.

Богатство жизни вблизи берегов и невидимость планктона долго создавали неправильное представление о распределении жизни в океане. Казалось, что вся жизнь сосредоточивалась вблизи берегов, моря были ею богаты, но их глубины и огромный открытый человеком в XVI столетии Мировой океан в главной своей части безжизненны.

Изменение взглядов произошло во второй половине XIX столетия: открыт был планктон, и жизнь была доказана на больших глубинах – на глубинах много выше средних 4 км, на глубинах в 6 км и больше. Сперва была открыта жизнь дна – разнообразные проявления бентоса на всех глубинах, доступных человеку. Затем, оказалось, что и мощные промежуточные слои воды в несколько километров толщиной содержат живые существа, может быть, не в таком большом количестве, как на дне, но они явно не безжизненные, хотя и до сих пор они недостаточно изучены.

Но жизнь оказалась и там, где ее раньше не предполагали. В самой массе воды открылся мир микробов, разнообразных бактерий, самым различным и интенсивным образом меняющих химические процессы моря. Их роль и история азота, кальция, кислорода, серы, железа открывается перед нами с ходом времени все ярче и шире. Под влиянием этих новых фактов, вместо старых фантастических представлений о безжизненной массе воды, составляющей главную долю гидросферы, начинают вновь возрождаться существовавшие в начале XIX века мечтания натурфилософов, считавших весь

океан *переполненным жизнью* и искавших в его глубинах ее зарождение. Но в таком виде представления о количестве живого вещества в океане являются преувеличением. Однако, несомненно, что жизнь распространена в морских толщах гораздо в большей степени, чем это считали. И если количество видимой жизни на больших глубинах, [на] их глубоком дне и в промежуточных слоях относительно не очень велико, все же она проникает всюду, и при подвижности ее носителей едва ли долгое время любое место гидросферы остается ее лишенной. В целом, весь океан должен рассматриваться – в каждом его месте – как неразрывная связь мертвой инертной материи и непрерывно изменчивого и химически меняющего мертвую окружающую водную среду живого вещества. В нем постоянно идет ток атомов из косной материи в живую, и обратно и этот ток будет совершаться, даже если внешние физические и химические условия будут оставаться неизменно постоянными, ибо он производится под влиянием той загадочной силы, какой является жизнь на нашей планете.

БАЛАНС ВЕЩЕСТВА ОКЕАНА

Но Мировой океан с этим происходящим в нем сложным процессом равновесия не является изолированным в земной коре. Его вещество находится в теснейшем обмене с атмосферой и сушей, и этот обмен имеет огромное значение не только для химии моря, но и для химии всей земной коры. Химия моря без него не может быть понята. Все наблюдаемые в море циклические процессы продолжаются за его пределы, составляя вместе с процессами суши и атмосферы одни процессы. Наружная земная оболочка, биосфера, химически является единым целым, а мировой океан – ее неразрывной частью.

Так как, несмотря на постоянно идущий привнос и унос вещества в океан, на сушу и в атмосферу и обратно, состав морской воды и характер происходящих в ней химических реакций остается неизменным, очевидно баланс моря постоянен, т.е. получение химических элементов из суши и атмосферы и их возвращение на сушу и в атмосферу из моря должны быть приблизительно одинаковы. Потеря элементов морем должна покрываться их привносом в него.

Можно убедиться, что и в этом столь важном и основном явлении в химии моря решающую роль играет живое вещество.

Баланс моря может быть выражен следующей схемой:

Баланс моря

А. Вещество приносится в море из суши и атмосферы

1. Осадки – дождь и снег } приносят пыль; осадки несут вещества в растворе

2. Ветер

3. Организмы суши

4. Растворение океаном берегов и дна

В. Вещество уносится из моря на сушу и в атмосферу

1. Испарение воды, уносящее не только воду, но и NaCl и т. д.*

2. Ветер и брызги

3. Морские нерастворимые осадки, создающие дно

- | | |
|---|---|
| 5. Космические пыль и газ | 4. Газовый обмен, уход газов при изменении температуры и давления |
| 6. Реки, приносящие в океан огромные количества вещества в растворе и во взмученном состоянии | 5. Переходы морских организмов на сушу |
| 7. Поглощение газов морской водой из атмосферы | 6. Питание морскими организмами организмов суши |
| 8. Деятельность человека | 7. Деятельность человека |
| 9. Вулканические извержения подводные и наземные** | |

* На это явление впервые указал в 1812 г. Т. Томсон.

** Наземные вулканы передают в океаны новые составные части ветрами и метеорными осадками. Вулканические подводные извержения мною были недооценены в 1923 г. В действительности значение этого фактора больше, чем я думал в то время.

ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО В ПРИВНОСЕ ВЕЩЕСТВА В ОКЕАН

В осадках и ветром приносятся в море значительные количества большею частью мелких организмов: влияние организмов сказывается и в размывании водою дна и берегов океана, но в чрезвычайной степени отражается оно на самом главном источнике приносимого в море вещества, *на химическом режиме рек*. По-видимому, реки приносят в море много больше вещества, чем все остальные источники этого процесса, вместе взятые.

Работы последних десятилетий, произведенные в Северной Америке, главным образом Ф. Кларком в лаборатории Геологического комитета в Вашингтоне и под его влиянием в других местах, выяснили нам в общих чертах картину явления. И эта картина указала на чрезвычайное значение жизни. Средний состав больших рек всех стран света, протекающих сотни верст по континентам среди меняющихся различных физико-географических условий, оказывается очень близким и почти совпадающим с средним составом речной воды, полученным из всех имеющихся анализов рек. Но состав отдельных рек, особенно небольших, или состав одной и той же реки в разных областях ее течения очень различны, в зависимости от разных биогеографических условий местностей, в которых они проходят. Реки, протекающие по сухим и лишенным растительности – *бедным жизнью* – местам, богаты сульфатами и хлоридами, бедны Са, богаты На. Реки, протекающие по областям влажным, по местам плодородным, переполненным жизнью, бедны сульфатами, богаты карбонатами; среди металлов преобладает кальций. В общей массе воды, вливающейся в океан, преобладают как раз реки второго характера, и они могут быть приняты как характерные для всего процесса. Можно, таким образом, утверждать, что *солевой состав речной воды, вносимой в океан, обусловлен биохимическими процессами*.

Не менее зависит от них и состав газов, проникающих всю морскую воду. Впервые в 1840-х годах талантливый французский ученый Эмэ выявил своеобразную черту морской воды: вода берет газы атмосферы с *поверхности* моря, и они проникают всю толщу морской воды – все ее километры – до

самого дна, сохраняя те же отношения между кислородом и азотом воздуха, которые соответствуют их растворимости в морской воде. Это отношение между кислородом и азотом, растворенным в морской воде, сейчас же восстанавливается, если оно каким бы то ни было путем, где бы то ни было, будет нарушено. В общем, мы видим, что атмосфера, только обогащенная кислородом, как бы проникает всю толщу воды вплоть до дна, являясь более удобной средой для развития живого вещества. Этот кислород постоянно входит в состав живых существ, он им необходим для дыхания, он извлекается ими постоянно извне из атмосферы или выделяется другими – хлорофиллоносными – организмами, берущими его из углекислоты.

Уже из этого ясно регулирующее действие организмов – живой материи – на состав газов морской воды. Но надо идти дальше.

Явления газового обмена обратили внимание в океанографии давно. Здесь мы имеем дело с относительно хорошо изученной областью явлений, ибо всегда было ясно значение этой области для практических заданий – для условий жизни промысловых организмов, в частности рыб. При этом уже давно убедились в значении в этих явлениях живых организмов. Режим морских и пресноводных газов главным образом обуславливается ими, и в то же время их развитие или гибель зависят от этого режима. Весь свободный кислород воды, в том числе и попадающий из воздуха, целиком производится в конце концов только живым веществом¹. Огромная часть углекислоты атмосферы имеет то же происхождение. По-видимому, углекислота чисто органогенного образования превышает по количеству ту углекислоту, которая попадает в океаническую воду из воздуха. Этими растворенными в воде кислородом и углекислотой живет все живое вещество, проникающее морские слои. Понятно поэтому, что мы можем считать весь режим газов океанов обусловленным живым веществом. Это станет еще более ясным, если мы рассмотрим в генезис углекислоты атмосферы; мы можем убедиться, что только некоторая ее часть не связана прямо или косвенно с живым веществом – та ее часть, которая выделяется вулканами и некоторыми газовыми струями и минеральными источниками. Но это – меньшая часть углекислоты воздуха.

Влияние организмов несомненно и в привносе живого вещества с суши в море. Я говорю здесь не только о тех трупях, которые несутся в море реками, но и о захваченных ветром, ручьями, реками, осадками живых организмах. В общей массе эти количества живого вещества, попадающие в океан, огромны; в океане они гибнут, оставляя в нем свои химические элементы, изъятые из суши, которые в новых условиях быстро переходят в новые формы нахождения, свойственные гидросфере.

Но помимо этого, в структуре живого вещества суши есть особые приспособления, которые неуклонно и постоянно, временно или окончательно вводят в океан живое вещество, несущее в своей массе химические элементы суши и оставляющие их в море. Так, мы имеем постоянно выход в море целых полчищ мальков разных пресноводных рыб, например угрей, проводящих в океане некоторые стадии своего развития и вновь возвращающихся на сушу; то же самое мы наблюдаем для морских рыб. В общем, вероятно, этим путем приходит вещества больше на сушу, чем сколько его получает море.

¹ В 1935 г. я показал, что сюда надо причислить и азот атмосферы, следовательно и океана [3].

Огромное количество вещества суши попадает в океан благодаря условиям жизни прибрежной фауны – плавающих птиц и других организмов, которые даже в течение временного своего пребывания в море приносят туда в конце концов большие количества вещества суши.

В общем совершенно ясно, что в конце концов в привносе вещества из атмосферы и суши в гидросферу огромное значение имеет живое вещество. Несомненно, всецело к нему должна быть отнесена деятельность человека, который с каждым годом все более и более увеличивает свое влияние в этом отношении, увеличивая свой флот и связанное с этим привнесение вещества с суши, меняя режим рек, характер берегов и т. п. Может быть, только в привносе космического вещества мы имеем вполне независимый от жизни процесс обогащения моря новым веществом¹.

ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО И УДАЛЕНИЕ ВЕЩЕСТВА ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ

Огромное значение жизни можно подметить в обратном процессе – в уносе вещества из моря и возвращении его на сушу или в атмосферу.

Здесь, в явлениях испарения, брызг и прибоя, участие живого вещества, если оно есть, незначительно и случайно, в общем балансе эти явления играют небольшую роль и переносят из моря небольшое количество вещества. Но уже в уносе газов из моря ясно огромное значение живого вещества.

Подавляющая главная масса вещества выносится при еще более ясном участии жизни. Я не буду останавливаться на деятельности человека и на переходе морских организмов на сушу. Мы здесь имеем явления, аналогичные тем, которые указаны для противоположных процессов – привноса вещества. В передвижениях морских рыб или морских пресмыкающихся (черепах), ракообразных (например, крабов и т.п.) мы видим большой процесс, может быть, много превышающий по своей значительности переход наземных животных в море.

Но не эти процессы являются господствующими, уравнивающими привнос вещества в море реками. Такими процессами являются: 1) деятельность наземных животных, извлекающих пищу из моря, и 2) те процессы, которые переводят растворенные в океанической воде вещества в нерастворенное состояние, которые, создавая осадки дна моря, возвращают их на сушу. Важно, что не только первый процесс связан с жизнью, но им всецело проникнут и более мощный процесс извлечения веществ из морской воды и переход в нерастворимое состояние элементов ее солевой массы.

Я остановлюсь сначала на том значении, какое имеет деятельность *наземных животных*. Обычно мы не сознаем геологического значения этого процесса. Аппаратом, который сейчас действует в данном направлении, является главным образом *мир птиц* – летающих организмов – и, в частности, те их перелеты, которые являются такой важной и характерной чертой в смешивании веществ на поверхности нашей планеты. Мириады птиц совершают огромные, правильно повторяющиеся перелеты за тысячи километров;

¹ Очевидно, и вулканический материал, приносимый подводными и наземными вулканами.

в своем теле они переносят химические элементы с одних мест в другие и совершают этим путем огромную химическую работу. Среди этих птиц играют огромную роль приморские птицы, прилетающие зимой в теплые края и улетающие весной на холодные берега океана. Но совершенно такую же работу производит и та масса приморских птиц, которая остается всегда на месте (например, пингвины или другие птицы, образующие птичьи базары). Они постоянно в своей пище выбирают из моря огромное количество химических элементов и переносят их на сушу. Совершенно ясно огромное значение этой работы, хотя бы по тому количеству остатков этого извлечения, которое остается при благоприятных климатических условиях в виде гуано, скопляющихся десятками и сотнями тысяч тонн в разных бедных дождями прибрежных местах океана.

МОРСКИЕ ОСАДКИ И ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО

Но как ни велики эти процессы, они отходят, по-видимому, на второй план перед тем основным [процессом], который регулирует обмен вещества между сушей и морем. Этим процессом является химическое выделение солевого состава воды океана на дне и у берегов в виде твердых новых соединений.

Круговорот вещества между сушей и морем определяется в главной своей весовой части двумя основными физикогеографическими процессами: *главная масса химических элементов вносится в гидросферу из литосферы деятельностью рек¹, и главная масса возвращается из гидросферы в литосферу путем более или менее сложных выделений вещества из водных растворов.* Если мы изучим эти два явления, мы получим общее понятие о круговороте вещества между сушей и океаном и обратно. Мы видели, что состав и характер вещества, приносимого в растворе реками, в основных чертах целиком определяется явлениями жизни². То же самое может быть доказано и по отношению к тем химическим процессам, которыми определяется выделение химических элементов в виде твердых соединений из морской воды.

Обращаясь к химическому составу морской воды, легко убедиться, что ее состав отвечает очень слабому раствору. Все входящие в морскую воду соединения очень далеки от состояния насыщения. Это ясно видно, если выразить состав морской воды в виде раствора солей [%]:

NaCl	2,91	K ₂ SO ₄	0,09
MgCl ₂	0,41	MgCh	0,01
MgSO ₄	0,18	CaCO ₃	0,01
CaSO ₄	0,13		

Даже для господствующего соединения – NaCl – мы имеем слабый раствор (насыщенный при обычной температуре содержит 27% NaCl). Нечего и говорить о других солях.

При таком характере раствора, очевидно, солевые соединения будут выпадать в твердом виде только при окончательном удалении воды из раствора, только при такой концентрации морской воды, которая достигается в исключительных случаях и захватывает небольшие площади гидросферы. А между

¹ Также вулканов.

² В приносе вулканов участие жизни есть, но сложное и отходит на дальний план.

тем мы знаем, что выделение вещества из морской воды происходит постоянно и непрерывно. Очевидно, это не есть процесс простой кристаллизации или химического осаждения. Это во всех своих основных чертах есть *процесс биогеохимический*, обусловленный прямо или косвенно жизнедеятельностью организмов.

Предоставленная самой себе, явлениям испарения, морская вода дает совершенно другие продукты, чем те, которые получаются в природе, в океане, переполненном жизнью. В концентрированных растворах жизнь прекращается, соли выделяются без участия организмов, выпадают из морской воды совсем другие комбинации элементов, чем те, которые нами наблюдаются обычно в океане. Из морской воды при испарении выпадает NaCl, который обычно в море удерживается в растворе, выпадает $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, тогда как нормально из моря выпадают карбонаты или сложные фосфаты кальция. При испарении выпадают двойные хлористые и сернокислые соли Ca, Mg, Na, богатые водой, которые не выпадают в море. Мы наблюдаем эти выпадения NaCl, гипса, водных солей и образование этим путем соляных залежей только после прекращения жизни, при замирании морских бассейнов в природе.

ХИМИЧЕСКАЯ РАБОТА РЕК

Остановимся несколько на этом процессе. Сравним принос элементов в водном растворе реками и их выделение биогеохимическим путем на дне, у берегов океана или в атмосфере.

Для того чтобы понять происходящий здесь процесс, сравним средний состав воды океана со средним составом той речной воды, которая в него постоянно вливается. Это сравнение было впервые сделано на основании очень недостаточных данных шотландским ученым Д. Мерреем и привело уже тогда к важным выводам. Я дам здесь новые исчисления Ф. Кларка (1920 г.), в существенном не меняющие, впрочем, ранее сделанные выводы [1]:

	Приносится ежегодно реками, [т]	Находится в океане, [т]
CO_3	$96,13 \cdot 10^7$	$9,56 \cdot 10^{13}$
SO_4	$33,20 \cdot 10^7$	$355,3 \cdot 10^{13}$
Cl	$15,54 \cdot 10^7$	$2553,8 \cdot 10^{13}$
Br	—	$8,6 \cdot 10^{13}$
NO_3	$2,46 \cdot 10^7$	—
Na	$25,84 \cdot 10^7$	$1413,0 \cdot 10^{13}$
K	$5,80 \cdot 10^7$	$51,08 \cdot 10^{13}$
Ca	$55,70 \cdot 10^7$	$55,28 \cdot 10^{13}$
Mg	$9,33 \cdot 10^7$	$172,10 \cdot 10^{13}$
$(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_3$	$7,52 \cdot 10^7$	—
SiO_2	$31,92 \cdot 10^7$	—

Сравнение этих чисел ясно показывает, что приносимые реками химические тела удаляются из океана неодинаковым образом, причем это удаление идет вне всякого отношения к их концентрации.

Реки вливают в океан огромное количество воды и вносят большое количество солей. В общем в год они вносят $2,75 \cdot 10^{13}$ т воды, и в этой воде находится не менее $2 \cdot 10^9$ растворенных веществ. Мы уже видели, что состав этой массы веществ определяется влиянием организмов. Жизнь увеличивает карбонаты, увеличивает количество Ca, Si; состав рек ярко выявляет реакции организмов – главным образом растительности суши. Но это влияние идет гораздо глубже. Реки несут в растворе огромное количество органических веществ, едва ли не менее $2 \cdot 10^{12}$ т в год, которые получаются при разрушении и изменении живого вещества после его смерти.

Общий состав солевого раствора рек (по Ф. Кларку, с поправкой на органическое вещество) может быть выражен следующими цифрами [%]:

Органическое вещество	11,00	Mg	3,05
*CO ₃	31,29	Na	5,15
*SO ₄	10,81	K	1,90
Cl	5,07	*(Fe, Al) ₂ O ₃	2,44
*NO ₃	0,81	*SiO ₂	10,33
*Ca	18,15		<u>100,00%</u>

Здесь звездочкой обозначены те группы элементов или элементы, история которых в этой форме нахождения в главной части обусловлена явлениями жизни. Но с ними прямо или косвенно связаны и другие элементы. Натрий и хлор проходят через организмы, не меняясь, всегда совместно и не удерживаются ими. Калий ими поглощается, и благодаря этому его количество в косной материи по сравнению с натрием уменьшается. Правда, калий поглощается соединениями – алюмосиликатами почвы, но само образование этих алюмосиликатов теснейшим образом связано с биохимическими процессами. Огромное значение имеет снос реками в море органических веществ. Некоторые реки, например реки тропиков или холодных притундровых стран, богатых болотами, несут большие их количества, например, вода р. Уругвай в солевом растворенном остатке содержит 59,90% органических веществ, Ла-Плата в Южной Америке – 49,59%, Амазонка – 15,03% и т.д. Это органическое вещество, продукт живых организмов, быстро входит в живое вещество моря, поддерживает те химические процессы, которые ведутся им в океанах. Не меньшее значение и той угольной кислоты, которая вносится реками в связанном состоянии и которая всецело обязана своим происхождением биохимическим процессам, главным образом в почвенных слоях суши. Мы обычно не учитываем и не представляем себе то огромное значение, которое имеет в жизни и в химических реакциях океана почвенный покров нашей суши. *Почва и морская вода химически и генетически тесно связаны.*

Не будет ошибочным утверждение, что *состав воды океана, поскольку он сейчас пополняется новым веществом, в главной своей части регулируется жизнью, живым веществом, его энергией*¹.

¹ Значение пылевых компонентов, в том числе и вулканических наземных материалов, в составе почв более значительна, чем это обычно учитывают. Только вулканическая пыль, непосредственно попадающая в океаны, и подземные извержения не связаны с жизнью. Даже с поправкой в такой форме («в главной части») это утверждение, возможно, не изменится.

ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО В МЕТАБОЛИЗМЕ МОРЯ

Обратимся теперь к тем обратным изменениям, которые происходят с солевым составом океана под влиянием реакций, которые идут в океанах и связаны с выпадением из его растворов новообразований твердых тел.

В результате этих выпадений получают совершенно необычайные комбинации химических элементов, обусловленные свойствами живых веществ. Живые организмы, переполняющие воду океана, проникающие ее всю, так же непрерывно химически изменяют ее состав, как непрерывно реки вносят в океаны новые вещества; они извлекают из мертвой части океана химические элементы и переводят их в живую, вне всякого отношения к их растворимости в воде океана. В результате этой работы из воды океана извлекаются химические элементы в зависимости от свойств и потребностей организмов; переведенные в соединения организма, они уже дальше имеют совершенно иную судьбу и дают начало совсем не тем продуктам, какие получались бы при испарении морской воды. Но эти продукты как раз характеризуют химию моря в ее обычном проявлении.

Достигается это прежде всего тем, что живое население моря различно по своему составу, и разные живые вещества, входящие в состав активной части моря, требуют разных элементов, в разных количествах.

Организмы, населяющие море, различны не только морфологически, но и химически. Это обычно не принимается во внимание, и до сих пор в науке господствует не отвечающее фактам обобщение об едином химическом субстрате жизни, об единой протоплазме, характеризующей жизнь и общей животным и растениям. Не считаясь с фактами, очень часто переносят представление о химическом составе одного какого-нибудь вида животных и растений на все остальные животные и растения.

Ввиду очень небольшого количества точных химических анализов живого вещества мы с большим трудом сейчас имеем возможность разбираться в относящихся сюда явлениях. Состояние наших фактических знаний в этой области чрезвычайно несовершенно. Достаточно сказать, что мы не имеем настоящего, вполне отвечающего современному состоянию знания, полного количественного элементарного химического анализа ни одного вида растений или животных. Мы не имеем даже анализа человека, сравнимого с анализом минералов. Мы имеем здесь очень много фактов и наблюдений, на приобретение которых потрачено много сил и труда за последние 100–125 лет, но эти факты разбросаны, не систематизированы, не охвачены единой мыслью¹.

Но все же это факты. И, исходя из них, мы сейчас можем сделать некоторые выводы в интересующей нас области явлений.

В океане мы имеем многочисленные, морфологически различные организмы, выполняющие различную химическую работу, извлекающие из морской воды те или иные химические элементы в большем количестве, чем их извлекают другие организмы.

¹ Ряд новых данных внесен с 1928–1929 гг. нашей Биогеохимической лабораторией в том числе и для планктона. Но все же между 1923 и 1935 гг., помимо наших данных, кажется, таких точных анализов не появлялось. Силы одной лаборатории ничтожны перед величиной проблемы [7–10]. Пока это не будет создано, положение будет медленно улучшаться.

Из таблицы среднего состава живого вещества видно, что для всего живого вещества, взятого в целом, более 10% по весу составляют только два химических элемента – те же, которые входят в состав воды, кислород и водород, но для отдельных организмов к ним прибавляются и другие элементы. В океанах мы имеем организмы, которые накапливают больше 10% своего веса следующих элементов, кроме О и Н: Ca, Si, Fe, Mg, Ba, Sr, может быть P, Mn, S.

Это специальные *кальциевые, кремниевые, железные, магниевые* и т.п. организмы, в которых количество данного элемента во многие десятки, сотни, тысячи раз превышает это обычное среднее в них содержание.

Но помимо этих, особенно энергичных собирателей отдельных элементов, в живом веществе моря существуют другие, концентрации отдельных элементов в которых в десятки раз меньше этой группы, но в сотни и тысячи раз превышает его среднюю концентрацию в живом веществе. Эти организмы производят в море в общем такую же химическую работу, может быть, того же самого порядка.

Такие организмы известны для следующих химических элементов: Si, Al, Fe, Mg, K, Na, Cl, Zn, P, Br, J, Mn, может быть Си и V.

Молено убедиться, что благодаря такому своему химическому составу эти живые вещества могущественным образом меняют все химические реакции этих элементов в море.

Остановимся на двух–трех примерах. В океане содержится ничтожное количество *кремния*: $n \cdot 10^{-4}\%$. Это такой слабый раствор, из которого химически кремнезем никогда не выделяется. А между тем речная вода, вливающаяся в океан, более богата кремнием. Кремний, очевидно, куда-то из морской воды уходит. И действительно, мы видим, что на дне океана идет постоянное отложение кремния, главным образом в виде разнообразных гидратов окиси кремния – опалов. Это отложения органогенные. Океан переполнен кремниевыми организмами – большей частью микроскопически мелкими. Сейчас среди них по количеству и значению преобладают одноклеточные водоросли, неисчислимыми мириадами переполняющие все моря и океаны. В них процентное содержание кремния доходит до нескольких процентов и может быть для некоторых видов больше. Эти организмы поглощают огромные количества кремния: им не хватает того кремния, который находится в растворе в морской воде – они неизвестным нам путем используют кремний, находящийся в мельчайших глинистых частицах, взмученных в морской воде. Отложения *панцирей* этих *диатомовых*, количество известных видов которых превышает 2000, слоями покрывают многие сотни тысяч квадратных километров морского дна. Диатомовые сосредоточиваются сейчас в относительно более холодных частях океана; в тропических и подтропических отложениях они заменяются другими кремниевыми организмами, производящими ту же работу концентрации кремнезема из морской воды, перевода ее в твердое нерастворимое состояние. Здесь отложение его достигается микроскопическими одноклеточными животными организмами – *радиоляриями*, количество которых не меньше, а морфологическое разнообразие еще больше: их известно до 5000 видов, если не больше. Диатомовые и радиолярии – не единственные организмы, концентрирующие кремний – мы имеем в море многочисленные другие организмы – губки, Heliozoa, Silicoflagellatae и т.д.

Все морские организмы находятся между собой в теснейшем взаимодействии: поедая друг друга, они переводят из одного организма в другой и тот кремний, который в них содержался. В сущности, почти каждый организм является концентратором кремния по сравнению с морской водой. В среднем организмы более богаты кремнием, чем морская вода. При взаимном поедании организмов кремний совершает и в живой материи огромный путь изменений, прежде чем он не выйдет из морской воды в виде отложившихся на дне моря остатков кремниевых или богатых кремнием организмов. Но опал, образовавшийся этим путем и отложившийся на дне моря, не остается неподвижным. Он оказывается в слабом, не насыщенном для кремния растворе, когда выходит из организма, защищавшего его от растворения; часть его вновь растворяется в морской воде и вновь попадает в организмы. Отложения радиолярий известны нам с альгонкской эры, губок несколько позже, диатомовых – с мезозойской¹. Но во всех геологических эпохах мы находим в виде мощных пластов на всей поверхности нашей планеты отложения опалов, переходящих затем в кварц, выделенных из слабых океанических растворов *этим вечно идущим биохимическим путем*. Вся история кремния в океане целиком обусловлена процессами жизни.

То же самое мы увидим и для других элементов. *Алюминий и железо* едва открываются в морской воде; для них мы не имеем даже достаточно точных количественных определений, для алюминия особенно. Между тем реки постоянно вносят их в большом количестве в водном растворе, но они в морской воде не сохраняются. Лишь в последние годы начинает выясняться механизм их выделения из морской воды. Алюминий захватывается рядом морских организмов, как растительных, так и животных. Им богаты морские водоросли, такие как *Fucus*, ламинарии, делессерия. Уже давно было указано значение водорослей в образовании квасцовых сланцев, доставляющих и алюминий и серу.

Железо выделяется из морской воды на дне океанов и морей под влиянием *железных бактерий*, собираясь в форме конкреций из гидратов окиси железа², покрывающих нередко огромные площади, например, в наших северных морях, Баренцовом или Карском. В последнее время выясняется не меньшая роль в удалении железа из морской воды многих *фораминифер*. Они захватывают окиси железа в виде цемента в свои скорлупки, составленные из мелких песчинок.

Этот цемент состоит из разных гидратов окиси железа. Огромные количества разных видов этих корненожек – *Rhabdammina*, *Harporhagmium* и т.д. – местами собираются на дне моря и изменяют его метаболизм. Но железо концентрируется огромным количеством и других разнообразных организмов. В общем относительное количество его в живом веществе значительно превышает его процентное содержание в морской воде. Его собирают многочисленные морские водоросли, асцидии, голотурии и т.д.

Но, может быть, ни для какого химического элемента это значение живого вещества не выражено так *резко* и ярко, как *выражено оно* для кальция, для того металла, который резко преобладает над другими *по своей концентрации*

¹ Сейчас – с пермо-карбона.

² По-видимому и хлоритов.

в организмах, в среднем составе живого вещества. Мы видели, что в среднем количество его в живом веществе приближается к его среднему количеству в земной коре; *это единственный металл*, который концентрируется в организмах и выделяется в них в виде карбонатов, фосфатов, оксалатов и т.п. Эти отложения кальциевых тел, проникнутых органическими соединениями, составляют нередко значительную часть по весу живого организма. Очень часто при изучении биологических вопросов этим скелетным образованиям не придают особого значения, считая основой и проявлением жизни протоплазму, и в связи с этим кальций не играет в представлениях биолога той роли, какая выделяется для него в геохимии.

С геохимической точки зрения отбрасывать при количественном изучении значения живого вещества в земной коре скелетные части организмов невозможно. Образование их главным образом определяет историю данного элемента в земной коре. Насколько велик может быть этот эффект видно из следующего примера. Одними из главных организмов, содержащих кальций, являются в океанах мельчайшие одноклеточные водоросли, принадлежащие к микропланктону – *Coccolithophoridae*, со времен кембрия принимающие исключительное участие в строении известняков. Неисчислимые мириады этих мельчайших организмов являются источником жизни (и кальция) для других, больших по размерам живых существ. Наблюдения Ламанна показывают, что в течение суток $1/3$ всего населения кокколитофорид тропических и субтропических морей, где они господствуют на протяжении сотен тысяч квадратных километров, должна сменяться новым поколением, умирает и рождается. Отнесенное к кальцию, это явление будет выражаться во многих сотнях тысяч, может быть миллионах тонн этого металла, перемещающегося в океане этим путем в этот короткий период времени.

Кальций собирается в твердом виде в океанах. Океаны превращают его подвижные соединения, находящиеся в растворе или в наземных животных, в устойчивые твердые соединения. Они его скопляют. Суша постоянно и неизменно теряет кальций. Реки уносят его с суши в море. В среднем больше 18% их солевого состава состоит из металлического кальция. Этим путем ежегодно вносится в океан $4,5 \cdot 10^8 - 5,5 \cdot 10^8$ тыс. т кальция – небольшая часть всего заключающегося в каждый данный момент в морской воде кальция, равного $5,5 \cdot 10^{14}$ тыс. т (0,05% кальция всей гидросферы). Но этот вносимый в море кальций не увеличивает его содержания в морской воде. Он сейчас же входит в состав живого вещества моря, фиксируется в теле организма в виде твердых соединений, непрерывно извлекаясь из раствора. Эту работу, как мы знаем теперь, главным образом производят не морские животные организмы, количество кальция в которых бросается нам в глаза в виде раковин моллюсков, костей рыб, скелетов морских ежей или звезд. Несмотря на огромное количество кальция, здесь сосредоточенного, оно отходит на второй план перед настоящими основными концентраторами кальция в море. Этими концентраторами являются мелкие организмы, менее бросающиеся нам в глаза при первоначальном ознакомлении с морем. Они дают – в виде пищи – исходный кальций и богатым кальцием более крупным животным. О их значении можно иметь ясное представление, учитывая, что скопления кальция в бросающемся нам в глаза населении моря во много раз меньше тех его количеств, которые собираются этими настоящими его концентраторами. Такими концент-

раторами являются прежде всего *растительные организмы*, большей частью те же, которые разлагают CO_2 , – хлорофильные живые вещества, лежащие в основе всей живой природы. Среди таких хлорофильных организмов на первом месте должны быть поставлены мельчайшие организмы микропланктона, *одноклеточные растения* *Coccolithophoridae* – коккосферы и рабдосферы, составляющие значительную часть мела и известняков. Но и более крупные водоросли, вроде литотамниевых, нуллипоровых и др., как оказывается, играют гораздо большую роль в строении известняковых отложений, особенно коралловых, чем мы это раньше думали. Недавно выяснилась огромная роль другого класса растительных организмов – лишенных хлорофилла бактерий, *Bacterium sabcis* и других, кишаших в воде теплых прибрежных морей и в открытом океане. Наряду с этими растительными организмами ту же работу производят и животные организмы – бесчисленные, быстро нарождающиеся и быстро гибнущие планктонные и бентосовые корненожки и строящие рифы – колонии кораллов – *Anthozoa*, гидроидные полипы и т.п. К ним прибавляется вся та масса организмов с массивными скелетами, которая нам так знакома.

Можно учесть огромную работу создания CaCO_3 , производимую этим живым веществом. В год отлагается в виде известняков из моря не менее $1,4 \cdot 10^9$ т кальция, причем это не показывает всей работы, производимой живым веществом, так как часть выделенного им CaCO_3 (или другой соли Ca) вновь растворяется и входит в вихрь жизни. В осадках остается то количество кальция, которое отвечает разнице между образованным и растворенным.

Это число $1,4 \cdot 10^9$ т (по Кларку, использовавшему и исправившему более ранние работы Рида, Меррея и др.) почти совпадает с количеством кальция, приносимого ежегодно реками в море – $5,5 \cdot 10^8$ тыс. т. Оно даже больше этого количества. Очевидно, в море есть и еще источники кальция, так как в нем происходят и другие его отложения – в виде фосфатов, правда ничтожные по сравнению с массой отлагающегося углекислого кальция. Очевидно, сравнивая принос и унос кальция, мы получаем сравнимые величины, и едва ли явится смелым предположение о том, что это величины равные или почти равные. Мы видим как бы определенный круговорот – *сколько кальция вносится в морскую воду, столько из нее, из морской воды и выносится*. Вся эта работа теснейшим образом связана с работой живого вещества, с его энергией, в конце концов с лучистой энергией Солнца. Очевидно, она связана и с определенным количеством жизни в море [1, стр. 202–209].

Какой бы элемент мы ни брали, всюду мы видим одну и ту же картину – всюду *живое вещество, жизнь, является основным агентом, создающим химию моря*. Мы видели это для Si, Fe, Al, Ca, но это верно и для C, N, O, P, S, J, B, Mg, Mn, K и т.д. Перед нами открывается своеобразный механизм той жидкости, которая образует вторую оболочку нашей планеты – гидросферу, – воды. В ней мы различаем две части – инертную, мертвую, и активную, живую. Эта активная часть целиком создает все те химические процессы, законы которых мы можем изучать в химической океанографии.

Необходимо иметь в виду, что эта работа живого вещества в нашу геологическую эпоху, на наших глазах и в известной мере под нашим влиянием, начинает изменяться и принимать формы, неизвестные в былые геологические эпохи, в которые химия моря в общих законах была такая же, какую мы

наблюдаем ныне. Химия моря меняется новым фактором, отсутствовавшим раньше, культурным человечеством, его, ставшей единой и организованной мировой техникой. Ее влияние сказывается и сейчас в истории азота, углерода в море; оно будет сказываться в дальнейшем все больше и больше. Законы культурного роста человечества теснейшим образом связаны с теми грандиозными процессами природы, которые открывает нам геохимия, и не могут считаться случайностью. Направление этого роста – к дальнейшему захвату сил природы и к их переработке сознанием, мыслью – определено ходом *геологической* истории нашей планеты; оно не может быть остановлено нашей волей. *Исторически* длительные печальные и тяжелые явления, разлагающие жизнь, приводящие людей к самоистреблению, к обнищанию, *неизбежно* будут преодолены. Учесть эту работу человечества – дело будущего, как в будущем видим мы и ее неизбежный расцвет.

На этом я мог бы закончить мое сообщение. Но я хочу еще несколько остановиться на современном состоянии знаний в этой области, на том отсутствии организованной энергичной в ней работы, с которым мы неизбежно все время сталкиваемся.

Такое положение дела не может дальше так продолжаться, так как разрешение вопросов, связанных с химической океанографией, затрагивает и научные, как я это пытался здесь дать понять, и практические вопросы огромной важности. Необходимо, чтобы при всех работах океанографического характера были, наконец, поставлены и вопросы химической океанографии¹.

[Широкие планы возобновления работ экспедиции Челленджера и систематического международного исследования Тихого океана, существовавшие в 1923 г., встретили препятствия в связи с экономическими и политическими трудностями жизни. И едва ли сейчас, в связи с дрящимся с 1930 г. мировым кризисом, можно ждать их сколько-нибудь мощного развития.

Но с 1923 г., когда была произнесена эта речь, совершенно изменились океанографические исследования в нашей стране. Прделана огромная интереснейшая работа, и то отставание от мирового темпа и уровня, которое было в 1923 г., сейчас не существует, как это ярко видно для Арктики и для прилегающих к нам морей. Открываются и дальше большие перспективы для ближайшего будущего. Но, к сожалению, эта работа недостаточно коснулась химии моря. Здесь надо идти по новым путям, которые сейчас открылись благодаря росту новой науки – геохимии].

Надо, чтобы задачи химической океанографии получили здесь необходимое внимание, какого они сейчас нигде не имеют.

Необходимо обратить внимание на самое основное. Мы не знаем элементарного состава воды гидросферы в целом и ее активной части – морского живого вещества. Эти данные должны быть получены в первую очередь, так как на них должна строиться вся наша дальнейшая исследовательская работа.

¹ Дальнейший текст (верный еще в 1923 г.) изменен в связи с резко изменившимся положением дел в нашей стране и за ее пределами. Возможности научной работы у нас с 1923 по 1935 гг. сильно выросли и мы должны реализовать эти возможности. Но химическая океанография и геохимия гидросферы в 1935 г. находятся в том же состоянии, как и в 1923 г. Упущены 12 лет, изменилась обстановка. Перепечатывать старое при этих условиях было бы неправильным. Необходимо было внести некоторые изменения – уточнения мысли. Новый текст здесь и дальше заключен в квадратные скобки. Ср. стр. 64.

Мы не знаем элементарного химического состава морской воды. Нет систематического анализа более редких элементов, в ней находимых, а между тем это сделать и вполне возможно и вполне необходимо. Ибо это количество, по-видимому мало колеблющееся, является одной из важнейших *констант нашей планеты*, определение которой позволит получить точное понятие о химии земной коры. Эта работа должна быть поставлена в первую очередь. В связи с этим должна быть пересмотрена та схема состава морской воды, которая сейчас господствует. Она основана в конце концов на данных Дитмара и Беканана, химиков знаменитой экспедиции Чалленджера. Эти работы, недостатки которых видны были и тогда, когда они производились в начале 1880-х годов, должны быть заменены новыми, произведенными в том же, если не в большем масштабе. Сейчас наши знания о содержании в океане К, Na, Cl, Br явно неверны. В международной комиссии для исследования моря цифра «Cl» не отвечает хлору химиков; в нее входит и Br, определение которого почти нет, и во всяком случае их очень недостаточно, они сомнительны в своей точности. Определения калия также вызывают большие сомнения; данные очень немногочисленны, и из них не исключены некоторые количества рубидия, существование которого в океане в больших количествах допускается исключительно на основании работ одного человека – К. Шмидта, правда очень точного русского химика; но, странным образом, в сотнях других анализов рубидий не указан. Это необходимо выяснить, так как история калия и рубидия в земной коре, двух радиоактивных элементов, один из которых играет такую исключительную роль в явлениях жизни, требует самого настоящего и тщательного изучения. Для натрия мы едва ли имеем два–три прямых и точных определения¹.

Наконец, мы не имеем анализов морской воды в ее естественном состоянии, со всем ее содержимым, а имеем анализы воды искусственной, из которой удалена часть активного – живого ее вещества. Об этом я уже говорил и повторять не буду. Но нам надо по существу поставить иначе анализы морской воды, чем мы вели их до сих пор, для того, чтобы получить *достаточно точные*, удобные для научной геохимической работы формы выражения фактов. Эта работа первой очереди.

Еще хуже обстоит дело с анализом морского живого вещества, химически активной части морской воды. Здесь надо все начинать сначала. Нет ни одного точного анализа ни для одного морского живого вещества². О значении этих анализов ясно говорит все, только что здесь мною сказанное. Нам нужно выйти из этого – *нетерпимого в интересах знания* – положения.

Вся эта работа может быть сделана только коллективным трудом. Один человек здесь может сделать очень мало. Коллективная работа будет осуществлена только тогда, когда сознание ее необходимости проникнет в общественное мнение научных деятелей.

Я буду считать цель моего доклада достигнутой, если он будет содействовать направлению внимания в эту сторону.

¹ Их больше, но все же положение знаний с 1923 г. существенно в этой области изменилось к лучшему очень недостаточно.

² Для моря есть только для планктона (работа Биогеохимической лаборатории.)

О РАЗМНОЖЕНИИ ОРГАНИЗМОВ И ЕГО ЗНАЧЕНИИ В СТРОЕНИИ БИОСФЕРЫ*

I

Медленно и постепенно, но все с большей ясностью восстает перед нами, по мере нашего проникновения в окружающую природу, картина планетного значения жизни.

Жизнь выявляется перед нами не как случайное явление в истории Земли; она входит в механизм ее коры, определяет одну из ее оболочек – биосферу.

Биосфера – область жизни – без перерыва облекает нашу планету. Всюду и везде на поверхности Земли мы встречаем жизнь, всюду и везде больше миллиарда лет без перерыва идет ее химическая работа. Она обуславливает во все яснее перед нами вырисовывающейся силе и размахе непрерывный, закономерный, неизменный ток химических элементов из живой в косную материю и обратно.

Эта поверхностная оболочка охватывает площадь, равную $5,10065 \cdot 10^8$ км²; она поднимается на несколько километров – больше 10 – в газовую нижнюю оболочку планеты, в тропосферу; она проникает весь всемирный океан средней мощностью больше 3,8 км, в отдельных местах доходящей почти до 10 км. Жизнь охватывает всю сушу, от высочайших вершин почти в 8 км, до глубочайших низин; по трещинам и пустотам она идет вглубь, местами больше чем на 1 км.

В этой области – в биосфере – жизнь рассеяна. Она сосредоточена в тонких пленках – в тонких слоях почвы, в покрывающих ее лесах, полях, степях, наземных водоемах, в морском планктоне, в гязях морского дна. В океане она достигает большой силы и развития в саргассовых сгущениях его поверхности, в его морях, в мелях, на границе океана и суши, у островов и континентов.

Область жизни есть поверхностная оболочка нашей планеты; она находится на границе космического пространства. Она воспринимает его излучения, главным образом излучения Солнца. И эти излучения не только поддерживают все явления жизни; они с помощью автотрофных – независимых в своем питании от остального живого – зеленых растений дают начало

* Несколько переработанная речь, прочитанная в январе 1926 г. на заседании Физико-математического факультета Масарикова Университета в Брно и в апреле 1926 г. на заседании Ленинградского общества естествоиспытателей в Ленинграде. Впервые опубликовано в: Изв. АН СССР. 1926. Т. 20, № 9. С. 697–726; Там же. № 12. С. 1053–1060. Также опубликовано в следующих изданиях: Rev. gen. sci. 1926. Vol. 37. № 23, p. 661–668; № 24, 700–708; Живое вещество. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1930. С. 121–172; Биогеохим. очерки. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 59–83; Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. С. 184–212.

Очевидно сейчас (1935 г.), что жизнь существует на нашей планете несколько больше двух миллиардов лет. Пегматитовые жилы Северной Карелии (около Синеи Палы и др.) существуют около $2,1 \cdot 10^9$ лет (больше 21 000 декамириад) – они являются верхнеархейскими и, может быть, еще более ранними – протероархейскими. Их геологическое положение см. В. Тимофеев [14]. О декамириадах см. В. Вернадский [17].

Вопрос о древнейших областях суши был поставлен как вопрос дискуссии Международного геологического конгресса в Москве в 1937 г. и древнейшие участки суши территории нашего Союза были в этом году выявлены.

тем огромным хранилищам химической свободной энергии, какими являются органические соединения, составляющие тело организмов.

Чем больше мы углубляемся в изучение истории химических элементов на нашей планете – в геохимию – или их молекул и кристаллов – в минералогию, тем ярче, тем неожиданнее глубоким становится перед нами отражение жизни в форме ею творимых органических соединений.

Та энергия, та сила, которая в них заключается, – не земная, а пришла из небесных пространств, но жизнь есть та земная форма организованности, которая вводит ее в химию планеты.

Для того, чтобы уяснить величину и значение этой энергии, достаточно остановиться на одном из бесчисленных ее проявлений. На нашей планете свободный кислород, находящийся на ней в виде газа или в форме раствора в природных водах, *нацело* создается жизнью. Мы не знаем пока ни одного случая, когда бы он выделялся в значительном количестве в результате какого бы то ни было химического процесса, независимого от жизни. Но нам известны тысячи земных химических процессов, в которых свободный кислород поглощается, переводится в новые соединения, исчезает как таковой. А между тем количество его в биосфере не меняется, остается все тем же. Это достигается непрерывной работой зеленых растений, и это одно дает меру их значения на нашей планете, дает представление о размахе их геохимической энергии.

Мы знаем количество свободного кислорода в биосфере; это даже одна из наиболее точно установленных постоянных планеты. Оно равно 1,5 квадриллионам тонн, т. е. $1,5 \cdot 10^{21}$ г. Поскольку нам известна химия земной коры, мы должны принять, что все это количество создано живым веществом и так или иначе в геологически ничтожное время через него проходит. Только по отношению к ничтожной части кислорода нет доказательства такого ее происхождения.

Образование свободного кислорода – один из бесчисленных биогеохимических процессов жизни. Мы знаем, что все живое находится в вечном изменении, производит непрерывно химическую работу. Оно разрушается создается, питается, дышит, выделяет и поглощает разнообразнейшие тела, строит новые соединения, количество различных форм которых должно исчисляться миллионами. И в то же время количество охваченной жизнью материи на нашей планете, по-видимому, не меняется. Оно исчисляется в пределах 10^{20} – 10^{21} г; оно одного порядка с количеством свободного кислорода¹.

В общей массе земной коры, близкой к $2 \cdot 10^{25}$ г (если взять ее толщину равной 16 км), это количество охваченной жизнью материи кажется ничтожной долей, но по отношению к биосфере ее процентное значение чрезвычайно повышается. Количество такой материи в среднем может оказаться не меньшим 1%, возможно будет равно нескольким процентам по весу биосферы, а в сгущениях жизни, например в почве, оно достигает иногда десятков процентов.

Эта охваченная жизнью материя – живые организмы – резко отличается от окружающей нас косной материи своим особым энергетическим характером. Она находится в вечном движении, совершает работу, богата свободной

¹ Количество живого вещества точно не учтено. См. В. Вернадский [1].

энергией. Это – материя, находящаяся в действенном состоянии, все вокруг себя меняющая, как меняет его косное вещество, находящееся в радиоактивном распаде.

II

Изучая проявления жизни в окружающей ее среде, в планетном масштабе, мы должны отойти от обычного для нас аспекта организма.

Перед величием таких явлений единичный организм теряет значение; он в них незаметен. Видны и сказываются лишь его совокупности, только его множества.

Они проявляются в том случае в тех же своих свойствах, которые характеризуют и тела косной материи, участвующие в процессах этого рода – твердые горные породы, природные водные растворы, газовые массы. Для них всех – для живых и для косных масс – важны лишь их веса и объемы, их химические свойства, их энергия и связанные с ней их движения. Только эти свойства организма должны приниматься во внимание. При таком изучении то, что бросается нам больше всего в глаза и что извека составляет предмет изучения биолога: морфология, физиология организма, его внутреннее устройство – уходят из нашего поля зрения.

В совокупностях организмов выступают новые их свойства, и характеризованные этими свойствами совокупности выявляются нам в форме новых особых естественных тел на нашей планете которые я буду в дальнейшем называть *живым веществом*.

Окружающая нас живая природа является *разнородным* живым веществом; она может быть разложена на *однородные* живые вещества.

Разбросанные и рассеянные в живой природе организмы одного вида или расы все принадлежат к одному и тому же *однородному* живому веществу, подобно тому как они принадлежат все к одному и тому же виду или расе, где бы они ни находились. Мы можем, складывая их эффекты в окружающей среде, говорить об их проявлении как о проявлении отвечающего им единого целого однородного живого вещества, подобно тому как мы говорим о них как о проявлении в окружающей среде одного и того же отвечающего им вида.

Можно сказать, что однородное живое вещество есть вид (раса), выраженный в весе, в химическом составе и в энергии составляющих вид или расу неделимых¹. Те числа, которые характеризуют свойства такого вещества, определяют видовые или расовые признаки.

Получаемые этим путем числа являются характерными для вида константами, его постоянными. Они могут его характеризовать с той же точностью, с какой его характеризуют его морфологические или физиологические признаки.

Но, очевидно, такое числовое выражение вида – в константах отвечающего ему однородного живого вещества – приводит к представлению о нем, совершенно отличному от обычного.

Каждый растительный или животный вид в таком его выражении выявится в земной коре в виде материальной массы или объема с характерными и определенными свойствами. Эти массы живого вещества входят в строение

¹ Надо принять во внимание еще характер занятого живыми организмами пространства.

биосферы совершенно так же, как входят в него другие материальные массы – горные породы, газовые или жидкие скопления. И они могут быть сравниваемы с ними в своем эффекте в биосфере, в частности в своем проявлении в *геохимических процессах*, т.е. в движениях химических элементов в земной коре – в переносах, концентрациях, переходах этих элементов из одного соединения в другое.

Как природная масса газа, природная вода или горная порода, так и живое вещество находится в неустанном обмене элементами с окружающей их средой.

Ток химических элементов, который характеризует этот обмен, является основным явлением в истории химических элементов в биосфере, определяет все наблюдаемые в ней законности.

Он резко различен для живой материи – для лесов, полей, степей, планктона и т.д. – и для косного вещества – для горных пород, газовых масс, водных скоплений.

Можно его мерить по его интенсивности, по скорости движения элементов из окружающей среды в строящее биосферу живое или косное тело и обратно. Чем движение это сильнее и интенсивнее, тем больше отвечающая ему энергия, выражением которой она служит. Это будет всегда энергия *химическая*. В изучаемом аспекте я буду называть ее *геохимической*, в той мере, в какой она характеризует перемещение химических элементов в *земной коре*.

Геохимическая энергия однородного живого вещества всегда больше, чем такая же энергия равной ему массы любой косной материи биосферы. Живое вещество меньшей массы всегда обладает большей геохимической энергией, чем равная [ему] или большая масса природного газа, природной безжизненной воды, горной породы нашей температуры и давления.

Геохимическая энергия косных тел растет в земных глубинах – в горячих земных газах и в нагретых поднимающихся снизу водах. Но даже для этих богатых свободной химической энергией тел геохимический их эффект не всегда равен или больше такого же эффекта равных им по весу живых веществ.

Этим разным энергетическим характером живой и косной материи определяется их резко различное значение в бытии биосферы.

III

Очевидно, определение геохимической энергии живого вещества, ее проявления, т.е. химической работы, совершаемой организмами в биосфере в виде тока элементов, является основной задачей для понимания значения жизни и ее места в мироздании.

Число, которым определяется эта работа, для каждого вида организмов должно быть ярким и важным видовым признаком.

Но обычно эта энергия не учитывается, и отвечающие ей понятия не вошли в сознание натуралистов.

Из трех основных проявлений живого вещества в биосфере – его веса (массы), его химического состава, его энергии – последнее проявление наименее затронуто научной мыслью.

Для нас ясно, что вес живого вещества может быть узан, когда известно количество составляющих его неделимых и средний вес неделимого. Точно так же легко может быть количественно определен для их совокупности сред-

ний химический состав организма и выражен или в весовых или в атомных процентах. Если мы имеем мало данных этого рода, причиной является не трудность решения задачи, но малое сознание ее значения.

Но до сих пор неясно, как количественно выразить *проявление в биосфере энергии* однородного живого вещества.

Очевидно, организмы влияют на химические процессы биосферы своим дыханием, питанием, идущим внутри их тела метаболизмом.

Но геохимический эффект питания и дыхания, даже если мы выразим его численно – по отношению ко всем организмам Земли, не дает нам еще полного понятия о геохимической энергии живого вещества, о свойственной ему силе производить и менять движение химических элементов биосферы.

Для учета этой энергии необходимо принять еще во внимание одно из самых основных – если не самое основное – всегда присущих живому свойств, каким является *размножение организмов*. Уже К. Линней ясно видел, что это свойство должно считаться основным для живого, той непроходимой гранью, которая отделяет его от мертвой, от косной материи.

Мысль о значении этого явления в понимании жизни ярко была выражена более 2000 лет назад гениальной интуицией великого грека Плотина. Многовековой упорной работой натуралистов-систематиков, точных наблюдателей природы, собран здесь огромный запас фактов, но редка область биологии, куда бы так медленно проникала синтезирующая мысль, где бы так мало явное значение явления отвечало уделяемому ему вниманию. Здесь не осознаны и не подвергнуты научному анализу давно достигнутые важные эмпирические обобщения. В частности, я не знаю ни одной работы, где бы явления размножения организмов охватывались с точки зрения их отражения в окружающей косной природе, их значения в организованности биосферы, в бытии планеты.

Но и чисто биологически явления размножения редко подвергаются анализу. Факты и обобщения мало связаны. Количественные зависимости и общие законности не вошли в общее сознание. Выводы из них не сделаны¹.

IV

Размножение организмов главным образом производит ту работу, которая связана с захватом организмом новых химических элементов из окружающей среды – из биосферы.

Зная темп размножения, можно учесть количество нового живого вещества, которое создается в единицу времени. Для этого необходимо знать средний вес организма и количество неделимых, рождаемых в единицу времени. Зная средний их химический состав, можно учесть совершаемую работу переноса по отношению к каждому химическому элементу.

Выражая организмы в весе и в химическом составе и зная количество неделимых, создаваемых в единицу времени, можно, очевидно, численно выразить совершаемую химическую работу. Она состоит в переносе в организмы из окружающей среды вещества, необходимого для их построения и для их роста до состояния зрелости. Она пропорциональна образовавшемуся этим путем количеству живого вещества. Мерой ее могло бы являться количество

¹ Это верно и теперь, как было верно в 1926 г.

вещества, создаваемого в единицу времени, а это количество пропорционально количеству неделимых. Количество неделимых, созданных в единицу времени, и их вес в зрелом состоянии могли бы дать понятие об интенсивности химической работы организма в биосфере, о его геохимической энергии.

Для живого вещества связанное с этим выражение геохимической энергии неизбежно будет очень сложным, так как количество неделимых, создаваемых в единицу времени, быстро растет – в геометрической прогрессии – ходом времени.

V

Но эту работу живого вещества можно выразить совершенно иначе. Можно свести ее на движение в биосфере материальных масс, по весу и составу отвечающих организму. Движение и количество масс определяется размножением. Это движение можно выразить как всякое движение в механических параметрах – можно определить его линейную скорость, его кинетическую энергию. В основу такого учета геохимической энергии живого вещества можно положить реально происходящее или могущее происходить в биосфере движение живых веществ благодаря размножению.

Кругом в окружающей нас природе такое движение идет непрерывно, его присутствие может быть установлено на каждом шагу, но обычно мы этого не сознаем. В сущности, вся картина живой природы, нас окружающая, им обусловлена, ибо им вызывается *всюдность* жизни, заполнение ею (населенность) окружающего пространства.

Мы не замечаем обычно происходящего движения. По трем причинам нам нужно усилие, размышление, чтобы его уловить.

1. Оно в своем проявлении не является простым переносом материальных масс. Это ясно, например, видно из того, что оно может наблюдаться у неподвижных организмов, каковы растения. Оно в известной мере аналогично *растеканию*, движению, связанному с давлением. Ярче всего оно может быть приравнено к распространению, растеканию радиоактивного газа, благодаря делящемуся в этом газе созданию новых атомов, их рождению, увеличению их числа.

2. Это движение совершается для видимых глазу организмов относительно медленно.

3. Оно происходит в среде уже заполненной – обычно насыщенной – жизнью и потому может происходить временами, проявляется в ясной форме только при особых, не всегда существующих обстоятельствах.

Оно встречает огромное сопротивление в окружающей среде, не всегда находит в биосфере места для своего проявления. Мы очень хорошо знаем это, говоря о *напоре жизни*, мы знаем, какие усилия, какую энергию мы должны употреблять для того, чтобы не допустить, например, проникновения в отделенные нами в биосфере пространства не только подвижных животных, но и неподвижных растений.

Напор жизни нас окружает. Всюду и непрерывно идет движение путем размножения, но оно в своем проявлении выражается главным образом в виде давления, и лишь временами мы его можем видеть в форме перемещений. Есть глубокая аналогия давления газовых масс с давлением размножающихся организмов.

Аналогия движения живого вещества в биосфере путем размножения с давлением газовых масс настолько глубока, что достижения одной области могут быть использованы для изучения другой, и этим путем можно подойти к целому ряду важных выводов при изучении явлений жизни. Но сейчас я оставляю эту аналогию в стороне в моем изложении, так как есть возможность, опираясь на размножение, представить геохимическую энергию как кинетическую, т.е. в форме, более удобной для ее учета.

Прежде, чем перейти к этому, остановимся на двух–трех примерах того движения, с которым нам придется иметь дело.

На огромном протяжении юга Европейской части СССР, на границе степи и леса, человек в течение всей своей исторической жизни наблюдает или *надвигание*, захват пространства лесом, или его *отход и* надвигание степи. Эти движения в ту и другую сторону идут столетиями и заметны лишь в амплитуде человеческой жизни. Они происходят вследствие того, что условия среды становятся то более благоприятными размножению леса, то обратно. Неподвижные деревья и травы движутся размножением.

На дальнем северо-востоке Сибири идет такая же борьба, как мы говорим, между лишайниковой тундрой и древесной тайгой.

Множество разнообразнейших движений этого рода проникает всю живую природу. Мы сталкиваемся с ними ежечасно и ежеминутно, из них не выходим.

Среди них я остановлюсь ниже на цветении прудов, на движении жизни путем размножения или зарастании стоячих вод, образовании скользящих по их поверхности покровов рясок (*Lemnae*) Protozoa, Protophyta и многих других организмов.

От времени до времени отдельные насекомые, млекопитающие захватывают новые пространства для жизни. Правда, эти организмы подвижны сами по себе, но видные для нас их переселения являются по существу следствием другого скрытого их движения, вызванного их размножением, – *увеличением* площади, неизбежно ими занимаемой, им необходимой для их жизни, – их *растекания* и нарушения вследствие этого их обычной области обитания.

Разнообразнейшие движения этого рода общи всем организмам. Всякий новый организм требует себе места под Солнцем. Чем быстрее будет идти размножение, т.е. чем больше организмов будет создаваться в единицу времени, тем быстрее будет происходить растекание жизни, ее давление – передвижение живого вещества на нашей планете.

Скорость *этого* движения, если мы ее сможем измерить, даст меру геохимической энергии жизни, так как чем она больше, тем большая химическая работа совершается в биосфере данным видом организмов, данным однородным живым веществом, тем больше его влияние на передвижение химических элементов на нашей планете, на ее геохимические процессы.

Но использование такой реально определяемой скорости растекания по земной поверхности размножающихся масс организмов для выяснения их геохимического эффекта в биосфере представляет огромное затруднение, вследствие указанного чрезвычайного увеличения числа рождающихся в единицу времени организмов в какой-нибудь их совокупности с ходом времени. Хотя организмы размножаются во времени одинаково, с неизменным темпом, образуемые ими массы будут растекаться по земной поверхности со

все растущей кажущейся скоростью, пропорциональной их числу и занимаемой ими площади.

Для нашей цели удобно ввести в наши рассуждения движения живого вещества по земной поверхности путем размножения в иной форме.

VI

Наблюдаемое явление зависит от двух факторов. С одной стороны, оно зависит от свойственного автономному организму темпа размножения, с другой стороны – оно неизбежно связано со свойствами биосферы. До сих пор обычно этот второй фактор оставляется в стороне, и этим, мне кажется, объясняется заброшенность этих важнейших явлений в миропредставлении натуралистов.

По отношению к первому фактору мы имеем множество отдельных наблюдений, точно установленных фактов и относительно небольшое число очень важных – большей частью издавна известных – эмпирических обобщений, менее, к сожалению, возбуждающих к себе внимания, чем этого они заслуживают.

Несколько таких обобщений, не возбуждающих сомнения, должны быть положены в основу всего нашего дальнейшего обсуждения.

Для моей цели здесь достаточно принять из них во внимание немногие.

Во-первых, *все явления размножения всегда могут быть выражены числами*; числами можно всегда выразить и наибольший предел размножения, который ни при каких условиях не будет превзойден для данного вида. Эти числа – количества потомства и сроки его появления – являются в общем в высшей степени стойкими в их максимальном проявлении.

Во-вторых, *размножение всех организмов без исключения может быть выражено в виде геометрической прогрессии*. По этому закону всегда для всех организмов будет увеличиваться с ходом времени количество неделимых. Иногда это выражают в другой форме: определяют время, в которое количество неделимых *удваивается*; это время оказывается для каждого вида *постоянной величиной*. Под постоянной величиной я подразумеваю физическую постоянную величину, имеющую этот характер только при определенных условиях, изменяющуюся при изменении этих условий закономерным образом и имеющую предел.

Третьим обобщением является наблюдение, что *организмы более мелкие размножаются быстрее организмов более крупных*.

Наконец, очень важно отвечающее фактам еще одно утверждение, что *размножение останавливается только из-за отсутствия во внешней среде необходимых для этого условий* – пищи, температуры и т.п., другими словами, что процесс размножения *отвечает явлениям, подчиненным правилу инерции*. Он *останавливается только под влиянием препятствий внешней создающей среды, а не в связи с изменением его организованности*.

Эти, как и многие другие обобщения, оставленные мною в стороне, кажутся самоочевидными или – без обсуждения – лежат в основе нашего понимания живой природы. К сожалению, они никогда не были критически изучены в своей совокупности и потому теряются, несмотря на свое огромное значение для нашего понимания мира.

VII

Выразим эти обобщения иначе. Для многочисленных протистов, размножающихся делением, явления размножения могут быть точно выражены следующей формулой:

$$2^{n\Delta} = N_n,$$

где n – количество суток, N_n – количество неделимых, существующее – благодаря делению – через n суток, Δ – коэффициент, характеризующий темп размножения.

Для многих протистов Δ выражает число поколений в сутки.

Можно эмпирически убедиться, что та же формула достаточна для выражения размножения всех возможных организмов, в том числе многоклеточных.

Я не могу здесь входить в рассмотрение тех усложнений, которые вносятся в нее в отдельных случаях. Замечу только следующее: очевидно, для организмов, смена поколений которых происходит не несколько раз в сутки, как это имеет место для многих протистов, а несколько раз в год или раз в несколько лет, число N_n будет иметь реальное значение только тогда, когда n – число суток – будет соответственно велико; для растений и животных, дающих потомство раз в год, необходимо брать n равным $t \cdot 365$, причем t равно числу лет, через которое происходит создание нового потомства. Только для таких величин n (суток) число особей N_n будет иметь реальное значение и совпадать с действительностью.

Очевидно, в этих случаях Δ не отвечает числу поколений, как это имеет место для многих протистов. Но все же возможность сведения всех бесчисленных случаев размножения к одинаковой форме выражения является чрезвычайным удобством для научной работы, ибо она впервые позволяет в этой области явлений точно количественно сравнивать свойства разнообразнейших организмов.

Я сделал соответственные перечисления для самых разнообразных групп организмов – для их сотен – и для всех них оказалось возможным выразить явление в форме прогрессии $2^{n\Delta} = N_n$, внося в нее в некоторых случаях поправки, лишние члены, как, например, для многолетних организмов, дающих потомство раз или несколько раз в год, а не в сутки. Я не буду останавливаться на отдельных относящихся сюда случаях, замечу только, что до сих пор мне не пришлось иметь дело с явлениями размножения, которые не могли бы быть охвачены – с простыми, количественно учитываемыми поправками – этой общей формулой. Очевидно, это связано с основным характером организации жизни.

Из этой формулы могут быть сделаны многочисленные выводы, и отвечающие ей явления могут быть выражены очень различным образом. Я остановлюсь здесь еще на одном ее выражении, вводящем новую константу α :

$$2^{n\Delta} = (\alpha + 1)^n = N_n,$$

где α будет выражать *суточный прирост* одного делимого при размножении. Каждые сутки неделимое увеличивается на α , так что если $\alpha = 3$, то к концу суток каждое неделимое – сколько бы их ни было – превращается в 4 неделимых; если $\alpha = 0,5$, оно превращается в 1,5 неделимых и т.д.

Примеры величин Дик

Виды организмов	Δ	α
<i>Бактерии</i>		
Bactertium coli comm	61,27	$2,78 \cdot 10^{18}$
Vibrio cholerae asiaticus	61,02–62,47	$2,2 \cdot 10^{18}$ – $6,4 \cdot 10^{18}$
Bacillus ramosus	53,33	$1,16 \cdot 10^{16}$
<i>Диатомеи</i>		
Nitzschia putrida	4,8	26,8
Среднее для морских диатомей (планктон)	0,5	0,41
<i>Piridineae</i>		
Среднее для Ceratium (планктон)	0,25	0,19
<i>Phytomonadina</i>		
Eudorina elegans	0,79	0,72
<i>Heliozoa</i>		
Actinophrys	1,25	1,38
<i>Инфузории</i>		
Paramecium aurelia	1,73	2,32
Paramecium caudata	1,09	2,12
Leucophrys patula	7,0	127,0
<i>Dicotyledonae</i>		
Trifolium repens	0,016	0,0088
Solanum nigrum	0,04	0,029
Пшеница (среднее для Франции)	0,019	0,013
<i>Mammalia</i>		
Sus scrofa	$0,9-2,25 \cdot 10^{-3}$	$0,5-1,5 \cdot 10^{-3}$
« domestica	$9,7-10,6 \cdot 10^{-3}$	$6,7-7 \cdot 10^{-3}$
Mus decumanus	$9,6 \text{ (мин)} \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-3}$
Ехерphas indicus	$0,096-0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,067-0,07 \cdot 10^{-3}$

Размножение организмов, а следовательно и их геохимическая энергия, увеличивается с увеличением Δ и α .

Пределы наблюдаемых колебаний этих величин могут быть видны из табл. 1, где они даны для нескольких организмов разных групп животного и растительного царства.

Наибольшая величина Δ не превышает 64–65; соответственно наибольшая величина α лежит между $1,8 \cdot 10^{18}$ и $1,7 \cdot 10^{19}$.

Наименьшие величины Δ и α соответственно будут числами порядка 10^{-3} . Мы увидим, что эти числа не случайные.

VIII

Я должен сделать здесь оговорку относительно приводимых в этой таблице чисел, оговорку, которая сохраняет свое значение и по отношению ко всем остальным числам, приводимым ниже.

Эти числа основаны на наблюдениях, находимых сейчас в биологической литературе. Эти наблюдения никогда не были производимы с той точностью,

которая необходима для физических измерений и которая может быть достигнута в этой области. Так, редко можно найти правильно исчисленные *средние величины*, полученные из достаточного числа – несколько сотен – наблюдений. Среднее время между поколениями всегда берется приблизительно. Например, для многих птиц указывается, что они кладут яйца один раз в год, т.е. как бы раз в 365 дней. Едва ли может быть сомнение в том, что это число приблизительно и что для каждого вида при определенных условиях его биоценоза и обитания это число должно иметь свою особую величину, только в среднем приближающуюся к 365.

Аналогичная поправка уже внесена для другой группы животных. Так, долгое время для протистов, например для инфузорий, время между двумя поколениями исчислялось простыми дробями суток – 1, 2, 3 и т.д. раза в 24 часа. Более тщательные исследования показали, что это только приблизительные исчисления, и в действительности каждый вид характеризуется своим особым промежутком между поколениями (табл. 1); для случая одного деления в сутки это число не равно 24, но лишь к нему близко.

Приводимые мною числа для Δ и α , а равно и все другие ниже приводимые, характеризующие явления размножения, не являются, таким образом, окончательными. Все же они в общем дают точное понятие о явлении *в первом приближении*. Порядок явления едва ли изменится сколько-нибудь значительно при дальнейшем изучении.

IX

В геометрической прогрессии мы имеем выражение размножения, сделанное без всякого отношения к биосфере; организм рассматривается, как это очень обычно и очень удобно в биологических проблемах, как автономное тело, независимое от среды.

Очевидно, в такой форме эти формулы не могут быть пригодны для определения геохимической энергии организма. В формулы этой энергии должны неизбежно войти свойства той специфической среды, в которой идет *работа живого вещества* – свойства биосферы.

Можно этого достигнуть, не меняя формул, но вводя в них поправки, связанные с нашей Землей – *первым делом с ее размерами*.

Представления этого рода возникали уже давно; мы находим их у К. Линнея, но следствия из них не делались. Очень ярко выразил их Ч. Дарвин в 1859 г. Он указал, как на характерное свойство всех без исключения организмов, на способность их всех – при достаточной пище и при достаточном времени – покрывать (благодаря размножению) всю поверхность планеты. Он совершенно правильно видел в этой способности предпосылку борьбы за существование, которой он в строе мира придавал такое большое значение. Чем быстрее размножается организм, тем скорее он должен покрыть сплошь земную поверхность.

Эти представления, конечно, отвечают – в такой форме – ирреальному, идеальному случаю. Мы знаем, что силы, этому препятствующие, непреодолимы для организма. Однако, это представление очень реально выражает в масштабе планеты энергию, проявлением которой является размножение; они определяют ее различие для разных организмов. Ибо эти представления дают точное количественное понятие о *максимальной геохимической работе*,

которую может произвести в биосфере данный вид, т.е. о *его предельной действенной геохимической энергии*.

Можно получить очень простые математические представления об этой предельной энергии, выражая размножение в наибольших для данного вида величинах Δ и α , а нашу планету в числовых элементах ее поверхности.

В этих математических выражениях будут меняться для каждого вида только Δ или α , тогда как для всех них числа, отвечающие биосфере, остаются неизменными.

Поэтому выражение максимального проявления геохимической энергии будет оставаться неизменным и в том случае, когда мы его будем относить к какой-нибудь части поверхности планеты, а не ко всей планете.

К тому же заключению приводит и то, что *размножение подчинено праву инерции*; Δ и α – в максимальной своей величине связаны с организмами, определяются внутренним их механизмом, как автономного, целого, и будут проявляться без изменения где бы то ни было, если это позволит среда жизни организма.

Ход размножения зависит только от них; размеры планеты дают возможность учесть только конечный результат, максимальную величину; они устанавливают предел и продукт размножения.

Х

Можно пользоваться числами Δ и α , изучать реально в природе эти явления и в тех случаях, когда на каком-нибудь участке биосферы организм покрывает его сплошь, благодаря размножению, совершает – в этих пределах – всю ему свойственную геохимическую работу.

Такие явления – движения живого вещества – наблюдаются на каждом шагу в биосфере; в частности, например, в том цветении стоячих вод, о котором я уже упоминал.

«Цветение» воды не есть редкое и случайное явление в природе. Оно идет непрерывно на земной поверхности, повторяется в одном и том же месте из года в год с закономерной правильностью. Оно происходит вследствие того, что некоторые организмы вдруг, вследствие не изученных нами благоприятных условий среды, начинают размножаться. Мы можем в таком случае легко следить за их движением. В короткий срок вся поверхность пруда покрывается сплошным покровом такого организма, например какой-нибудь ряски – *Lemnae*. Когда поверхность воды покрыта ею вся – иногда сплошь, без промежутков, – дальнейшее движение ряски останавливается. Легко убедиться, что сила размножения не изменилась, она лишь не проявляется вследствие сопротивления среды, отсутствия места для нового, создаваемого размножением неделимого. Мы не можем утверждать, что размножение совсем прекращается, но оно, несомненно, чрезвычайно ослабляется, и вновь родившиеся особи гибнут, не достигши полного развития. Его присутствие – в неизменной форме – может, однако, наблюдаться и проявляться ежеминутно; достаточно освободить место в покрове ряски, и мы увидим, что это пустое пространство в определенное время, в зависимости от величины размножения, заполняется. Энергия размножения, геохимическая энергия, таким образом, не исчезла – она перешла в *потенциальную форму*. Мы имеем здесь явление, аналогичное тому, которое наблюдается для какого-нибудь падающего пред-

мета, зацепившегося за препятствие. Энергия тяготения не перестает действовать, но форма ее стала потенциальной. Препятствие исчезает – падение будет идти дальше.

Такие состояния в явлениях размножения мы будем называть *стационарными состояниями*. Они будут характеризоваться достижением путем размножения наибольшего количества неделимых, которое можно поместить на данной площади.

Это выражается уравнением:

$$\frac{S}{K} = N_{st}$$

где S – площадь воды, K – коэффициент, связанный с размерами организма, N_{st} – наибольшее число его неделимых для данной площади.

Зная Δ , очевидно легко вычислить, в какой срок будет достигнуто для данного организма N_{st} , т.е.

$$2^{n\Delta} = N_{st}$$

Мы видим постоянно вокруг нас стационарные состояния организмов: их выявляют площади скал, сплошь покрытые мхами или лишайниками, дает целинная степь, не тронутый человеком лес, любой биоценоз или растительное и животное сообщество. Везде здесь, конечно, помимо размеров данной площади, решающей в борьбе за существование является первым делом различная геохимическая энергия однородных живых веществ, одновременно находящихся на данной площади. Но основным являются размеры площади; каждый организм находится в связи с ними в постоянном для себя числе; дает столько потомства, сколько это позволяют эти размеры, т.е. та их часть, та площадь, которую ему удастся себе обеспечить в борьбе за существование при существующих определенных условиях среды.

XI

Все эти соображения можно перенести на всю поверхность нашей планеты. Взятое в таком масштабе явление размножения дает возможность количественно сравнивать между собою проявление вызывающей его силы, чего нельзя делать по отношению к явлениям, выраженным в виде бесконечной геометрической прогрессии.

Для двух организмов, размножение которых выражается геометрическими прогрессиями, отношение между числами их неделимых выражается уравнением

$$\frac{N_n}{N'_n} = \frac{(\alpha + 1)^n}{(\alpha_1 + 1)^n} = \delta^n,$$

т.е. разница между количеством возможных неделимых будет неудержимо безгранично расти с ходом времени.

Этой безграничности, однако, не может быть в ограниченных размерах нашей планеты. Для нее существует для каждого вида одно максимальное стационарное число неделимых, которое будет достигнуто при полном проявлении, возможном на планете, геохимической энергии данного живого вещества.

Оно будет определяться размерами планеты и средними размерами организма или средним ареалом обитания отдельного организма.

Здесь существует уравнение

$$N_{\text{mx}} = \frac{S}{K} = \frac{5 \cdot 10064 \cdot 10^{18}}{K},$$

где S и K выражены в квадратных сантиметрах.

Как только достигается стационарное максимальное число неделимых, энергия размножения данного вида становится потенциальной и производить химическую работу на Земле она больше не может.

Существование максимального стационарного числа для каждого вида организмов связано с тем, что для каждого из них есть своя определенная величина действенной энергии размножения, которая не может никогда на нашей планете быть превзойдена. Их потенциальная геохимическая энергия может считаться безграничной, но реальная действенная энергия для всякого организма имеет определенный предел. Существует определенная, неизменная максимальная масса вещества, которая может быть создана каждым видом организма и которая может одновременно существовать на нашей планете.

Эта максимальная возможная масса вещества M равна:

$$M = pN_{\text{mx}},$$

где p – средний вес организма.

Величина M дает количественно определенное, количественно сравнимое для разных организмов представление о той химической работе, которую может произвести – в пределе – на нашей планете каждый растительный или животный вид.

Сравнивая величины M разных организмов, мы получаем отношение между их предельными геохимическими энергиями.

Это отношение остается всегда неизменным, хотя M для каждого организма есть характерная для него особая земная величина.

Тот же организм в условиях другой планеты даст другие величины свободной химической энергии, как является другим его в ней вес, но отношения между разными M и здесь могут сохраниться неизменными, теми же, какими они являются на Земле.

XII

Для наших целей гораздо удобнее во всех вычислениях представлять ту же геохимическую энергию иначе, как энергию кинетическую, используя для этого движение, вследствие размножения, живого вещества по земной поверхности.

При растекании организма благодаря размножению, в биосфере идет этим путем перенос по поверхности геохимической работы живого вещества.

Такое движение геохимической энергии по земной поверхности благодаря размножению организмов, ее передача в биосфере является ее характерным своеобразным свойством.

Скорость этой передачи, выраженная в линейных единицах, даст нам меру геохимической энергии живого вещества. Я буду называть ее v – скоро-

стью передачи жизни (т.е. передачи геохимической энергии живого вещества) в биосфере.

Очевидно, это не будет скорость размножения или та скорость растекания по земной поверхности размножающейся толпы организмов, о которой я говорил. Она будет мерить передвижение по земной поверхности свойственной организму силы, способности производить геохимическую работу, причем эта способность неизменна и ограничена для каждого вида (так как M есть предельная постоянная величина), и она передается с неизменным темпом (зависит от неизменных предельных Δ или α).

ХIII

Для ее вывода воспользуемся представлением, давно введенным в жизнь натуралистами. Назовем через ε количество суток, в которое данный организм может целиком заполнить площадь нашей планеты с максимальной возможной для него густотой населения.

Очевидно, ε будет зависеть: 1) от быстроты размножения, т.е. от Δ или α , 2) от размеров организма – коэффициента K и 3) от размеров планеты, т.е. площади $5,10065 \cdot 10^{-8}$ см².

Оно должно отвечать формуле

$$\varepsilon = \frac{18,70762 - \lg K}{\Delta \cdot \lg^2}$$

Величина его различна для каждого организма и колеблется между 1,3 суток для бактерий и несколькими тысячелетиями для крупных млекопитающих. Можно убедиться, что подобно тому, как это наблюдается для Δ и α , и ε будет совершенно правильно меняться для семейств и классов организмов (табл. 2).

Таблица 2

Величина ε – захват живым веществом поверхности планеты (в сутках)

Виды организмов	ε
Зеленый планктон (среднее)	168–183
Большие водоросли (среднее)	17832–28931 (49–79 лет)
Бактерии: <i>Vibrio cholerae</i>	Около 1,25
<i>Bacterium typhi</i>	« 1,8
Инфузория: <i>Leucophrys patula</i>	10,6 (максимум)
Диатомовые: <i>Nitzschia putrida</i>	16,8 (максимум)
Инфузории: <i>Paramecium caudata</i>	31,8–67,3
« <i>aurelia</i>	42,7 (среднее)
Schizophytae: <i>Anabaena baltica</i>	112–143
Насекомые: <i>Culex pungens</i>	203
<i>Aphis mali</i>	392
<i>Musca domestica</i>	366
Цветковые растения: <i>Trifolium repens</i>	4076 (больше 11 лет)
Рыбы: <i>Clupea harengus</i>	2736–4485 (7–12 лет)
<i>Pleuronectes platessa</i>	2159 (около 6 лет – максимум)
<i>Gadus morrhua</i>	1556 (больше 4 лет – максимум)

Таблица 2 (окончание)

Виды организмов	ε
Птицы: куры	5600–6100 (15–18 лет)
Млекопитающие: крыса	Около 2800 (около 8 лет)
домашняя свинья	« 2800 (больше 8 лет)
дикая свинья	« 20628 (больше 56 лет)
слон (индийский)	« 376000 (больше 1000 лет)

XIV

Очевидно, передача геохимической энергии, при полном выявлении свойственной данному однородному живому веществу (виду, расе или подвиду) действительной ее формы, тоже совершится для каждого из них в ε дней, причем передача должна идти неизменно одним и тем же темпом. Для нахождения ее линейной скорости обратим внимание на следующее.

Когда какой-нибудь организм растекается благодаря размножению по поверхности планеты, он в этом своем движении совершает как бы кругосветное путешествие; каждый организм неизбежно проходит при этом – с различной для каждого скоростью – единое существующее на нашей планете *наиболее длинное расстояние*. Этим расстоянием является длина земного экватора, которая равна 40 075,721 км, или $4,0075721 \cdot 10^9$ см.

По экватору же передается – в течение ε 86,400 секунд – и геохимическая энергия данного однородного живого вещества.

Скорость передачи определится числом сантиметров, проходимых в одну секунду.

Эту характерную для каждого вида величину я буду называть *v* – скоростью передачи жизни на нашей планете (скоростью заселения) – правильнее – передачи ее геохимической энергии. Она равна:

$$v = \frac{46383,93 \lg(\alpha + 1)}{18,762 - \lg K} = \frac{46383,93 \lg 2 \cdot \Delta}{18,70762 - \lg K}.$$

Как видно из формулы, скорость *v* меняется только в связи с величиной или с ареалом жизни организма и с быстротой его размножения. Размеры ее определяются размерами планеты.

XV

Вывод этой величины представляется несколько искусственным и вызывает некоторые недоумения. Я считаю поэтому необходимым сделать несколько пояснений.

Длина земного экватора есть очень замечательное измерение на нашей планете. Оно очень ярко определяет ее геометрические свойства, *есть физически важная величина*. Это наибольшее направление, которое, не повторяясь, может быть при каких бы то ни было условиях, пройдено на земной поверхности¹. По отношению к геохимической энергии всякого живого вещества

¹ Очевидно, принятая для вычисления величина диаметра отвечает идеальному сфероиду, сведенному к уровню моря. Величина реального экватора от нее отлична, но численно не будет, в связи с точностью нашей работы, выходить за пределы ошибок. Может представлять

оно может играть роль индикатора. Когда в своем размножении организм – всякий – пройдет по одному направлению расстояние, равное 40 075,721 км, его действенная энергия размножения перейдет в потенциальную, и размножение не будет иметь места.

Это – *общее свойство всех организмов*. Энергия всех организмов по прохождении этого направления, как только организм дойдет размножением до конца, переходит в потенциальную. Поэтому очень удобно взять эту величину за единицу для сравнения при определении скорости передвижения геохимической энергии жизни по земной поверхности путем размножения. Все организмы неизбежно при полном заполнении земной поверхности пройдут эту величину.

Очевидно, измеряемое по этому направлению передвижение их геохимической энергии должно всегда идти с одной и той же скоростью, так как величина v зависит только от неизменных для данного вида максимальных величин ρ и K . Она одинакова по всем направлениям на земной поверхности и, очевидно, при максимальном проявлении размножения v будет всегда одна и та же, какое бы расстояние, на котором мы ее изучаем, мы ни взяли. В действительности идет растекание энергии по всем направлениям: мы выражаем в виде скорости передачи жизни по экватору предельный максимальный результат этого растекания при максимальной Δ .

Очевидно, для других величин Δ величина v будет меньше, но будет отвечать скорости передачи жизни, отвечающей менее благоприятным для нее условиям.

XVI

Прежде чем перейти к дальнейшему обсуждению скорости передачи жизни, необходимо остановиться на величине K , которая является сложным понятием и далеко не известна нам в своем настоящем виде.

Величина эта определяет *густоту* возможного населения, *плотность жизни* на определенной площади.

Можно представить себе максимальную плотность такого нахождения, которая получится, когда организмы помещаются вплотную, рядом друг с другом так, чтобы они не мешали друг другу в своем неподвижном положении, причем они свободны в своих движениях, не сходя с места. Я буду называть эту величину коэффициентом K_1 и будут считать K_1 , равным квадрату максимального измерения организма. Так, например, для бактерии длиной в 1 μ (т.е. 10^{-4} см) и толщиной в 0,5 μ (т.е. $5 \cdot 10^{-5}$ см), K будет равным 10^{-8} см²; для рыбы длиной в 100 см и толщиной в 20 см K будет равным 10^4 см².

Значительная часть моих подсчетов основана на таком определении коэффициента K , и таблица, здесь приводимая, дает так полученную величину v . Очевидно, это *наименьшая возможная скорость передачи жизни при полном ее проявлении в биосфере*, так как она соответствует наибольшей возможной

геологический интерес задача: 1) определить на Земле, представив ее лишенной поверхностных вод, максимальное по длине направление, которое может быть пройдено, не повторяясь, по одному и тому же направлению, 2) беря поверхность океанов и высоту гор и низин, определить ту же максимальную длину кривой единого направления. Это, конечно, не экватор. Интересно вычислить, как много они будут отличаться от принятого астрономического экватора нашей планеты.

плотности нахождения на Земле организмов; называю ее v_1 . Несомненно, коэффициент K_1 , точно связанный с размерами организма, отвечает очень важному свойству живого вещества. Ибо размеры организма не случайны. Мы увидим, что нижняя их граница точно определяется молекулярными свойствами вещества, в частности газов. Верхняя граница тоже не случайна: в течение всей геологической истории она не выходила за пределы 200–300 м. Хотя мы точно не знаем причины этого, она явно связана с характером биосферы, может быть с движением масс в определенном поле тяготения планеты.

XVII

Но биологически гораздо важнее и гораздо реальнее другое выражение скорости, где K имеет иное, более глубокое, кажется мне, биологическое значение. К сожалению, мы его можем определить лишь в немногих случаях.

Это другое выражение коэффициента K я буду называть K_3 . Оно определяет *ареал, необходимый в сложных условиях природы для жизни и для размножения организма*. Это K_3 является числом огромного биологического значения. Оно дает для v , очевидно, гораздо большие числа, так как вычисленные так стационарные числа гораздо меньше, чем стационарные числа, отвечающие K_1 . Несомненно, v , вычисленные из K_1 , дают условное и неполное выражение геохимической энергии. Правильное дадут числа, отвечающие K_3 .

Несколько примеров вычисления K_3 достаточны для выявления их значения (табл. 3).

Таблица 3

Некоторые значения K_1 и K_3

Виды организмов	K_1	K_3
Индийский слон	$5 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^{12}$
Пчела	4–5	$2,5 \cdot 10^6$
Пшеница	2–4	25–35
Овцы (Шотландия)	$2,25 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^7$

Ясно, что ареал для жизни, например, цивилизованного человечества чрезвычайно велик, благодаря сложности его потребностей, и его стационарное число, реально отвечающее его цивилизации, относительно невелико и едва ли много будет отличаться от $n \cdot 10^9$, где n – невелико.

Целый ряд важнейших и интереснейших следствий вытекает из определения констант K_3 и v_3 , в частности, например, в связи со столь занимающими человеческую мысль вопросами народонаселения, обобщением Мальтуса, но я не могу здесь на них останавливаться.

Сейчас эта область явлений очень мало затронута биологами и требует энергичной работы. Результаты ее должны быть очень плодотворны.

В табл. 4 сведено несколько примеров вычисленных скоростей передачи жизни для самых различных организмов. Остановимся на последней величине, отвечающей v , вычисленной для бактерий.

Полученное число очень замечательно. Оно близко для *Vibrio cholerae* к 33 100 см/сек. Это *скорость звука в воздухе*, т.е. в среде дыхания организмов.

XVIII

Такое совпадение могло бы быть или случайно или быть связано с определенными условиями жизни организмов, в частности бактерий. Все указывает, как я сейчас попытаюсь это выяснить, что это совпадение не случайное.

Таблица 4

Величины v

Виды организмов	v , см/сек
<i>Elephas indicus</i>	0,096–0,1
<i>Sus scrofa</i>	0,9–2,25
<i>Cicada septendecium</i>	1,03
Большие водоросли (среднее)	1,6–2,5
Кокинхинские куры	7,5–8,2
<i>Mus decumanus</i>	9,6 (минимум)
Пшеница (среднее)	9,7–10 (для K_3)
<i>Sus domestica</i>	9,7–10,6
<i>Clupea harengus</i>	10,4–17,9
<i>Pachytylus migratorius</i>	11,3
<i>Trifolium repens</i>	11,38
<i>Leuciscus idus</i>	15,1
<i>Gadus morrhua</i>	26,5–29,7
<i>Musca domestica</i>	126,5
Планктон пиридиной (среднее)	166–176
Зеленый планктон (среднее)	246–273
<i>Culex pungens</i>	336,8
<i>Paramecium caudata</i>	689–1456
<i>Noctiluca noctiluca</i>	698–1417
<i>Paramecium aurelia</i>	1083,3 (среднее)
<i>Glaucoma pyriformis</i>	1408–1760
<i>Bacillus ramosus</i> при 5° C	2127
<i>Nitzschia putrida</i>	2688–2745
<i>Bacillus subtilis</i>	24866
<i>Bacillus ramosus</i> (для оптимума)	29538
<i>Vibrio cholerae</i>	33100 (до 37350?)

XIX

Бактерии занимают замечательное положение в царстве жизни. Это организмы наименьших известных размеров, с наибольшей быстротой размножения. Едва ли они стоят очень далеко в обоих этих отношениях от границы жизни, как это видно из изучения их размножения в масштабе биосферы. Существующие ультрамикроскопические организмы, вероятно, много меньше бактерий и едва ли выходят по размерам за пределы 10^{-6} см, к которым подходят мельчайшие бактерии.

Бактерии суть организмы с наивысшей известной величиной Δ . Эту величину Δ можно выразить для них физически точно: для бактерий она выражает количество поколений в сутки. В среднем их размножение – деление клетки –

устойчиво, идет с малыми колебаниями. *Промежутки между двумя делениями очевидно имеют огромное биологическое и геохимическое значение: они выражаются в секундах:*

$$\frac{86\,400}{\Delta} = \tau.$$

Очевидно, этот период τ не может быть неограничен. Он выражает то время, которое, помимо всего прочего, необходимо для изготовления всех сложнейших химических соединений, строящих (тело) бактерий, в котором идут сложные процессы, связанные с делением клетки. Для бактерий эти последние, по-видимому, не имеют в этом отношении того значения, какое они приобретают, например, в клетках *Metaphyta* и *Metazoa*. Очевидно, τ не может быть бесконечно малым и, по-видимому, для бактерий оно близко к предельной возможной для организма величине.

В сводках по бактериологии указываются для τ величины 17–20 мин. как наименьшие. Однако это, по-видимому, единичные наблюдения, но не средние величины, характеризующие процесс деления. По-видимому, *средние величины* не спускаются ниже

$$22,60 = 1320 \text{ сек.}$$

и

$$23,60 = 1380 \text{ сек.}$$

Эти величины τ отвечают определенным величинам Δ , α и N_{mx} . Число генераций Δ лежит между 63–64, α – между 10^{18} – 10^{19} , а N_{mx} есть число порядка 10^{26} , может быть до 10^{27} .

Эти величины относятся к мельчайшим бактериям, размеры которых в некоторых направлениях являются величинами порядка 10^{-5} см и не превышают немногих единиц порядка 10^{-4} см.

Из всего, что мы знаем, ясно и несомненно, что Δ может быть больше 64, а τ меньше 1320 сек. только для организмов, размеры которых меньше 10^{-4} см.

Наименьшая величина τ должна иметь огромное биологическое значение. Непонятным образом она не установлена, хотя никаких особых трудностей для ее определения нет. Бактериологи оставляют без внимания ее изучение.

Наименьшая величина τ очевидно связана: 1) с размерами организма – отвечает их наименьшей величине, 2) с силой размножения – отвечает максимальной величине Δ и 3) с наибольшей геохимической энергией живого вещества.

Точное ее определение имеет, таким образом, большой интерес, как биологический, так и геохимический. Оно даст нам числовые представления о размерах наименьших организмов, с одной стороны, и о максимальном возможном значении числа M – массы одного однородного живого вещества, могущего существовать на нашей планете, с другой.

Поэтому для дальнейшей работы в области геохимии точное определение наименьшего возможного значения величины τ имеет первостепенное значение.

Оно имеет значение еще потому, что предел величине τ , так же как наименьшему размеру организмов и наибольшему их размножению, – *всем числам Δ и v ставится свойствами газов, с которыми организм неразрывно связан.*

Газовый обмен является самым характерным проявлением размножения, следовательно и передачи геохимической энергии жизни в биосфере. Если живое – в латентном состоянии, например в форме семян и спор, – может существовать без газового обмена, размножающийся организм неизбежно дышит. Если он дышит, должен идти непрерывный ток газовых молекул в данный организм и из данного организма.

Быстрота размножения, связанная с созданием новых органических соединений, по-видимому, идущим почти всегда при участии газообразной формы материи, всегда *пропорциональна* быстроте газового обмена. Газовый ток может служить мерой размножения, и как ни мало мы знаем газовый обмен бактерий, едва ли может быть сомнение, что мы наблюдаем для них наиболее интенсивный известный для живого вещества газовый обмен между организмом и окружающей средой.

Газовый обмен зависит не только от организма, но и от свойства газа. Функцией газов, следовательно, должны быть и размножение организмов и их размеры.

Из свойств газов – при рассмотрении этих явлений – должны остановить наше внимание два: 1) величина газовых молекул и 2) связанное с этим количество их, могущее находиться в одном объеме пространства. Мы знаем, что оба эти свойства газов очень определены и имеют предельные значения, которые никогда не могут быть перейдены. Чрезвычайно характерно, что эти две величины являются соизмеримыми с числами, отвечающими величине и размножению живых организмов.

Величина газовых молекул отвечает порядку 10^{-7} см. Она не может быть меньше, так как числа грядущего порядка 10^{-8} см отвечают уже расстоянию между атомами.

Очевидно, организмы – бактерии и ультрамикроскопические представители жизни – не могут иметь размеры порядка 10^{-7} см и меньше. Мельчайшие известные организмы имеют размеры порядка 10^{-4} см, например для мельчайшего кокка, наблюдаемого в воде океана, по Фишеру, объемом 10^{-12} см² (т.е. $1 \mu^3$), диаметр его неделимых будет в среднем равен $1,24 \cdot 10^{-4}$ см, а для бацилл холеры толщина палочек не превышает $5 \cdot 10^{-5}$ см.

В газовом обмене этих организмов мы имеем, таким образом, дело с сложными биофизико-химическими процессами между совокупностями мельчайших тел близких размеров – 10^{-7} см (газовые молекулы) и 10^{-4} – 10^{-5} см (живые неделимые бактерии).

Могут ли процессы газового обмена – дыхания – идти между газовыми молекулами размера 10^{-7} и организмами порядка меньше 10^{-5} , напр[имер] 10^{-6} см? *Или же здесь лежит предел размеров возможного существования жизни?*

Необходимо при суждении об этом вопросе не упускать из внимания явлений размножения. Из всего, что мы знаем, вытекает с несомненностью, что

для организмов порядка 10^{-6} см Δ должно иметь величины гораздо большие, чем 64, и величина v должна превышать, и намного, скорость передачи жизни для бактерий, т.е. 33 100 см/сек – скорость звуковых волн в воздухе, находящаяся в теснейшей связи с упругостью газа. Возможно ли это?

Нет ли здесь предела и для размножения организмов и для их размеров?

XXI

Я могу лишь в немногих словах остановиться здесь на этом вопросе; в другом месте я надеюсь к нему вернуться.

При решении этого вопроса не надо упускать из виду свойств газов и прежде всего так называемого числа Лошмидта, определяющего предел количества газовых молекул в 1 см^3 . Для 0° и 760 мм оно равно $2,706 \cdot 10^{19}$.

Лошмидтово число, являющееся другим выражением Авогадрова числа, лежит в основе современной молекулярной физики, утверждается всем ее эмпирическим материалом.

Принимая его во внимание, подходят к определению размеров газовых молекул, равному 10^{-7} см, указанному выше. Принимая его во внимание, мы, с другой стороны, подходим к необходимости признать существование пределов размножения – величины Δ . Ибо для бактерий, например, процессы жизни идут в жидкости; в одном ее кубическом сантиметре количество газовых молекул, необходимых для дыхания – и для размножения организма, – должно быть много меньше 10^{19} , ибо $2,7 \cdot 10^{19}$ есть максимальное их количество в пустом пространстве. Сферический организм, по размерам равный бактерии диаметра $1,24 \cdot 10^{-4}$ см (объем $1 \cdot 10^{-12} \text{ см}^3$), может дать путем размножения 10^{12} неделимых в этом объеме. Мы должны признать из наблюдения, что отношение $\frac{10^{12} \text{ бакт.}}{10^{19} \text{ газ. мол.}}$ в 1 см^3 может существовать.

Для такого сферического организма Δ близко к 63. Число неделимых, могущих путем размножения (стационарное их число) поместиться в 1 см^3 , быстро увеличивается по мере увеличения Δ . Одновременно размер организма должен уменьшаться; при величине организмов порядка 10^{-6} см получают числа, приближающиеся к равенству числа неделимых и числа газовых молекул, долженствующих находиться в интенсивном обмене в одном кубическом сантиметре жидкости. Мы приходим к явлениям, которые – при современных наших представлениях – кажутся нам невероятными.

Как раз при этих предположениях и величина передачи геохимической энергии организмов должна превышать скорость звука, т.е. того перемещения газовых молекул, которое, как известно, определяется только их упругостью и плотностью. Так как геохимическая работа организма прежде всего связана с вызываемым его жизнью током газов – при дыхании, – представляется неизбежным, что *скорость ее передачи в биосфере не может превышать скорости звука (в воздушной среде).*

В таком случае $v = 33\ 100$ см/сек определяет и предельную величину Δ (число поколений в сутки при делении свободной клетки) и возможный размер организма. К этому выводу я вернусь в другом месте.

XXII

Выясняющаяся таким образом роль газового обмена организма, тот предел, который им кладется величине возможной геохимической энергии организма, очевидно заставляет внимательно всматриваться в проявление этого газового обмена как в биологии живых существ, так и в газовой структуре биосферы.

В биологии организма мы видим его проявление на каждом шагу. Прежде всего он теснейшим образом связан с их движением по земной поверхности благодаря размножению, с их на ней растеканием. Ибо растекание живого вещества не может быть целиком приравнено к чисто механическому явлению – растеканию газа или какого-нибудь вязкого тела, в физическом пространстве всегда независимого от той среды, в которой оно находится.

Оно отличается от этих процессов тем, что движущийся организм неразрывно связан с той средой, в которой идет его движение. Это движение связано с газовым обменом организма; оно увеличивается в своей скорости, когда газовый обмен становится более сильным, оно ослабляется, когда он уменьшается. *Дыхание регулирует растекание жизни в биосфере так же, как оно определяет размеры организмов, их способность к размножению.* Для протистов, газовый обмен которых идет с поверхности, он пропорционален ее величине. Поэтому для них поверхность организма, его размеры, резко проявляются и в явлениях размножения и в связанной с ними их геохимической энергии. Чем меньше размеры организмов, тем больше поверхность, отвечающая одной и той же массе живого вещества, тем интенсивнее газовый обмен и тем большей величины может достигнуть геохимическая энергия жизни. Среди протистов мы должны искать организмы с максимальным геохимическим эффектом.

Для многоклеточных организмов явление будет более сложно, так как газовый обмен идет и внутри организма и наружная поверхность их не является ему прямо пропорциональной. Мы увидим, действительно, при вычислении кинетической геохимической энергии, что между Metazoa и Metaphita, с одной стороны, и протистами – с другой, наблюдается резкое различие в величине этой энергии, вполне отвечающее разному механизму их дыхания.

Газовый обмен дальше определяет взаимоотношения между количествами неделимых каждого вида, могущими существовать одновременно.

Ибо, как мы знаем, количество газа биосферы, находящегося в распоряжении живого вещества, ограничено и для основного для жизни свободного кислорода – особенно.

В природе должна идти, говоря образно, борьба организмов за существование в форме *борьбы за газ* – «борьба» за нужный для подавляющего их числа свободный кислород.

Всматриваясь в окружающее, мы можем проследить эту борьбу на каждом шагу.

XXIII

Проявление газового обмена – дыхания – в химической работе живого вещества в биосфере сказывается в еще более грандиозных явлениях в самой планете.

Этим объясняется чрезвычайно своеобразный характер газового обмена нашей планеты, давно обративший на себя внимание минералогов и не имевший объяснения.

В газовом режиме Земли обращают на себя внимание три явления.

Во-первых, самый состав газов. Удивительным образом состав природных газов нашей тропосферы совершенно идентичен с теми газами, которые образуются во время биохимических процессов или являются их продуктом изменения.

Считая и редкие газы, мы имеем в тропосфере следующие газы, которые все выделяются живыми веществами и в значительной мере только этим путем попадают в тропосферу: N_2 , CO_2 , H_2O , H_2 , CH_4 , NH_3 , H_2S . Результатом действия свободного кислорода на эти газы при условиях биосферы являются окислы серы, окислы азота, озон. Только один гелий и благородные газы, находящиеся в атмосфере в ничтожных количествах, вполне, по-видимому, не зависят от живого вещества¹. Все остальные газы находятся в ничтожных количествах.

Вторым фактом является исключительно биохимическое происхождение того газа, который является основным газом, поддерживающим дыхание – свободного кислорода².

Наконец, третьим фактором является количество газов тропосферы, биосферы вообще, которое не только, как мы это видели для основного в процессах дыхания газа, для свободного кислорода, но и для всей газовой оболочки Земли соизмеримо с количеством живого вещества.

Это явление – вся химическая структура тропосферы – становится понятным, если мы учтем то значение, какое в ее установлении имеет химическая работа живого вещества, вносимая им в этой форме в газовую земную оболочку лучистая энергия Солнца. Ведя борьбу между собой за газ, организмы в целом устанавливают газовый обмен нашей планеты, во всяком случае ее наружной оболочки.

XXIV

К значению газового обмена в явлениях размножения приводит и изучение кинетической геохимической энергии живого вещества.

Мы входим здесь в новую область приложения этих новых понятий, на которой я сейчас остановлюсь лишь чрезвычайно кратко.

Мы можем выразить кинетическую геохимическую энергию размножения обычной формулой механики $\frac{pv^2}{2}$, где будет средний вес того вида, скорость заселения которого (геохимическая энергия) будет равна v .

Эта кинетическая геохимическая энергия проявляется для нас в создании живого вещества на земной поверхности, и мы можем относить ее к определенной площади, например к *гектару*. Так выраженная кинетическая энергия определяет работу, производимую организмами при полном заселении гектара. Очевидно, она находится в теснейшей связи с обычными нашими исчислениями плодородия. Я не буду сейчас останавливаться на ее приложении к этим явлениям, а отмечу другие выводы из этого представления, ближе относящиеся к теме доклада.

¹ Может быть, сюда относится CSO.

² Это биохимическое происхождение верно не только для кислорода, но и для азота тропосферы.

Выраженная на гектар кинетическая геохимическая энергия какого-нибудь вида будет выражаться уравнением

$$\frac{pv^2}{2} \cdot \frac{10^8}{K} = A,$$

т.е. суммой кинетической энергии всех тех организмов, которые в пределе могут поместиться на гектаре.

Чрезвычайно характерно, что для Protozoa и Protophyta существует следующее уравнение при полном проявлении их геохимической энергии:

$$\frac{pv^2}{2} \cdot \frac{10^8}{K_1} = A_1 = \text{const.}$$

Так как *вес* организмов нам точно не известен, а удельный вес организмов близок к единице, это уравнение может быть написано иначе:

$$\frac{pd'}{2} \cdot v \cdot \frac{10^8}{K_1} = A_1,$$

где p' – объем, d – удельный вес организма.

Для $d = 1$ мы имеем

$$\frac{p'v^2}{2} \cdot \frac{10^8}{K_1} = 3,53425 \cdot 10^{12} \text{ CGS.}$$

Вообще же:

$$\frac{dp'v^2}{2} \cdot \frac{10^8}{K_1} = 3,53425 \cdot 10^{12} \text{ CGS.}$$

Это постоянство на гектар геохимической кинетической энергии является общим явлением для всех Protozoa и Protophyta.

Оно, очевидно, связано с притоком на гектар солнечной энергии, которая захватывается зелеными растениями и переводится ими в общую для всего живого свободную, способную к работе химическую энергию. Постоянство геохимической энергии жизни является следствием постоянства притока солнечной энергии.

XXV

Многочисленны и разнообразны выводы, которые могут быть сделаны из этого явления. Очевидно, что не только явления плодородия должны получить новую обработку – но постоянство величины A для протистов должно дать нам возможность вычислять d , p , K в случае, когда известны некоторые из них. Размеры и вес всех протистов должны находиться в простых соотношениях. Число A относится к максимальному проявлению размножения, и только Δ и α , отвечающие такому размножению, связаны этой формулой с весом и размерами организма.

К сожалению, сейчас мы можем делать эти вычисления только для очень простых случаев, так как у нас нет нужных наблюдений. Средний вес Protozoa и Protophyta прямо не измерен; объем определен в немногих случаях, удельный вес тоже. Элементы максимального возможного оптимального размножения могут быть получены редко.

Но проверка правильности формулы может быть все-таки сделана. Ибо для этих организмов удельный вес всегда близок единице, а форма нередко приближается к геометрическим простым фигурам, и среди них очень часто наблюдается приближение к сферической форме, т.е. к телу с наименьшей наружной поверхностью.

Исходя из этого, можно вычислить максимальную величину v , а следовательно и отвечающей ей Δ и α – в зависимости от размеров *организма*.

Мы получаем чрезвычайно простые формулы, константы которых обусловлены размерами нашей планеты и принятой единицей времени – секундами, – связанной с ее вращением.

Эти формулы следующие:

Для шаровых организмов:

$$v^2 = \frac{1,35922 \cdot 10^5}{D};$$

$$\Delta^2 = \frac{\varepsilon(C - 2 \lg D)^2}{B_1^2 \cdot D}.$$

Здесь D – диаметр шара,
 $\varepsilon = 1,35922 \cdot 10^5$,
 $C = 18,70762$,
 $B_1 = 46\,383,93 \cdot \lg^2$.

Для цилиндрических организмов:

$$v^2 = \frac{4,5 \cdot 10^5}{D_1} = \frac{45000}{D_1};$$

$$\Delta^2 = \frac{\varepsilon_2(C - \lg 2D_1H)^2}{B_1^2 \cdot D_1}.$$

Здесь D_1 – радиус основания,
 H – высота цилиндра,
 $\varepsilon_2 = 4,5$.

В другом месте я подробно остановлюсь на этом явлении. Здесь же мне важно отметить, что произведенные вычисления дают удовлетворительные результаты. Это видно из следующих примеров (табл. 5).

Таблица 5

Вычисление $\Delta_{\text{мх}}$ суточных поколений протистов при их делении

Протисты	Вычисл.	Наблюд.	Наблюдатели
Leucophrys patula	4,8–6,8	Около 7	Маурпас
Stylonichia pustulata	4,65–5,11	» 5	»
» mytilus	3,27–4,4	» 3	»
Stentor coeruleus	0,42–0,63	» 0,5	Gruber

Все эти вычисления велись в предположении, что форма данных тел сферическая. Очевидно, они должны были уже потому являться приближительными. Всюду сравнивались наблюдавшиеся поколения при наивысших температурах, при оптимальном размножении. Всюду наблюдения над размерами не могут считаться точными, так как биологи обычно указывают только их пределы и не дают средних величин.

XXVI

Все же проверка может считаться удовлетворительной, и она заставляет еще внимательнее отнестись к тем основным положениям, которые лежат в основе наших рассуждений – прежде всего на значении *дыхания*, газового обмена, в регулировании размножения.

Я уже указывал, что в этом отношении между одноклеточными и многоклеточными организмами наблюдается резкое различие, и только для первых есть простое соотношение с размерами, т.е. с поверхностью организма.

Можно поэтому ждать, что величина A будет иная для многоклеточных.

Наблюдения явно это указывают. Правильности, наблюдаемой для протистов, здесь нет, и никогда, как видно по крайней мере из произведенных мною до сих пор вычислений, величина A не достигает порядка 10^{12} CGS на гектар. Она всегда *меньше*, по-видимому, различна для разных организмов, колеблется в единицах порядка 10^{10} – 10^{11} CGS, может быть, даже спускается до 10^9 для некоторых высших организмов.

Та энергия, которая измеряется газовым обменом, которая строит тело живого организма, только у протистов, таким образом, целиком идет на размножение, выявляется в биосфере в форме их кинетической геохимической энергии.

Для высших организмов большая ее часть идет на процессы иного рода, принимает другую форму, не выявляемую в геохимических процессах биосферы.

Но и в том и в другом случае мы видим значение и проявление газового обмена, дыхания, в ее величине. И в том и в другом случае есть – разная – зависимость явления от размеров организма и планеты. И в том и в другом случае явления размножения и связанная с ними геохимическая энергия жизни подчиняются точным выражениям меры и числа.

XXVII

На этом я мог бы закончить мое и без того длинное сообщение, главной целью которого было возбуждение внимания к этим стоящим в стороне от научной текущей работы областям знания, выяснение их значения.

Только сознание натуралистами значения этих явлений даст нам те факты, которые не могут быть собраны иначе, как коллективным трудом, и без которых невозможна дальнейшая работа в этой области знания.

Но я хочу – прежде чем кончить – выразить и подчеркнуть лежащие в основе всего изложенного общие положения, которые, кажется мне, имеют не только научный, но и философский интерес.

Наука и философия, при всей неизбежности их взаимного проникновения, являются по существу совершенно различными областями проявления человеческой личности.

Поэтому неизбежна большая осторожность со стороны ученого или со стороны философа, когда каждый из них со своими навыками и приемами, с иным материалом изложения входит в чуждую ему область, к которой подводит его работа, его сознание. Он неизбежно в этой области не у себя дома и не всегда может оценить – в правильной мере – свои суждения.

Однако бывают моменты в истории науки или философии, когда это взаимное проникновение неизбежно, когда достижения или науки или философии, по существу помимо воли и желания исследователя, неуклонно проникают из одной области в другую.

Мне кажется, мы сейчас переживаем такую полосу развития научного мышления, которая с непреодолимой неизбежностью ставит перед ученым проблемы философского значения, к тому же еще не охваченные системати-

ческой работой философского мышления. Мы имеем счастье жить в небывалую еще в многотысячелетней истории эпоху расцвета научных возможностей; перед наукой открываются такие широкие кругозоры, которые еще никогда перед ней не выявлялись. Для их понимания, для проникновения в них, мы вынуждены от поры до времени заходить из области науки, для всех единообразной, в область философии, всегда многоликую.

Мы вынуждены это делать потому, что научное мировоззрение, в котором мы живем и в котором научно работаем, не есть только создание науки. Оно захвачено и проникнуто чуждыми науке философскими и религиозными построениями, с которыми мы свыклись и происхождение которых мы обычно не сознаем.

Сейчас эти, принимаемые за научные, части научного мировоззрения, эти чуждые науке построения, начинают мешать нашей научной работе. Они должны заменяться другими, более отвечающими новым научным достижениям.

И я хочу закончить свое сообщение, отметив два таких, связанных между собой положения, которые все крепче охватывают научную мысль и которые по сути своей выходят за пределы научного мышления в область философии и вытесняют из научного мировоззрения старые философские и религиозные представления, в ней укоренившиеся.

Первое из них – это *значение числа*, которое так ярко проявляется в области биологических явлений, взятых в масштабе планеты.

Число царит здесь так же, как оно царит в движении небесных светил, и начинает нам выявляться в мире сложных систем атомов и их сочетаний. Движение живых веществ на поверхности планеты благодаря размножению – перенос на ней ими выработанной энергии – так же неизменны, так же определены и так же могут быть вычислены, как движение небесных тел.

Они также могут быть предвидены. Яркая, вечно изменчивая, полная красок, случайностей, неподдающаяся нашему чувству разнообразия живая природа, в сущности, построена на *мере* и на *числе*. Она согласована в своих тончайших проявлениях и по существу является частью единого стройного целого, единой структуры – *организованности*¹. Вес, размеры, количество потомства, быстрота его воспроизведения численно обусловлены размерами планеты и ее газовым веществом. А в связи с этим отражение живого в химических процессах Земли, в составе и в характере атмосферы является их поддающимся исчислению и предвидению результатом. Планета и организм неразрывно численно связаны.

Число также должно охватить область живого на нашей планете, как оно охватывает область больших явлений космоса.

В этом отношении между живым и космическим нет разницы.

XXVIII

Гораздо глубже касается философских исканий другой вывод – неизбежность признания в этой области определенного, не *случайного*, *порядка природы*, отсутствие того проявления бессмысленного или безразличного случая, который так часто в последних поколениях ученых охватывал их мысль, хотя

¹ Я употреблял здесь в 1926 г. выражение «одного механизма» [2].

он по существу и в действительности никогда не имел корней в полученном их работой научном материале. Он пришел в научную среду из философских и религиозных построений и интуиций.

Долго мы не чувствовали его вредного влияния, ограничивающего область нашего искания, мешавшего нам смотреть открытыми глазами на окружающую нас природу.

Слепой или бессмысленный случай, столкновение ничем не связанных частиц и неправильных их движений, построение мира без оставления места в нем явлениям, которые для нас так близки в нашем разуме и в нашем сознании, с каждым годом и с каждым новым научным достижением все больше бледнеют, все больше кажутся детским, не отвечающим реальности научным лепетом.

На каждом шагу мы наблюдаем соотношения, которые приводят нас к необходимости аналогии с организованностью¹, а не со слепым столкновением случайностей.

С неизбежностью мы идем к новому научному миропредставлению, чуждому старым рационалистическим и механистическим и с ними связанным представлениям XVIII и XIX столетий. Эти порождения философских и религиозных течений неизбежно должны исчезнуть из нашего научного охвата природы. Наша материя, наш атом, наше пространство с его симметрией и с его излучениями, существование в космосе человеческого разума и сознания стоят в резком и, по-видимому, непреодолимом противоречии с той материей, с тем атомом, с тем пространством и с тем космосом без разума и без сознания, которые удовлетворяли так долго искателей научной истины, но были даны им не научным исканием, получены ими извне, из иной, по сути чуждой науке, области духовной жизни человечества.

Мы не знаем, к чему нас приведут новые возникающие научные достижения. Мы находимся сейчас в периоде несколько раз повторявшегося в истории мысли интенсивного научного творчества. Можно эту интенсивность уподобить взрыву и говорить о *взрыве научного творчества*, вне воли людей меняющего их миропонимание. Эта смена идет нам неизвестным, но не случайным и закономерным путем².

В основе ее лежит *созидание* нового.

Если в научной области и идет крушение старых построений, оно идет благодаря созиданию новых, с ними не совместимых. Старое не разрушается, но исчезает, расплывается, благодаря *созданию* нового, и часть этого нового оказывается сущюю в старом, хотя она и не была в нем видна. Одним из частных проявлений этого нового является то проникновение во все уголки космоса представлений о числовой и симметрической согласованности частей целого, о порядке природы, одним из проявлений которого является представление о живых организмах, как частях (организованности) земной коры.

Объяснение этого явления явно выходит сейчас за рамки научной мысли, но мне кажется, что самое важное – *факт его бытия* – все точнее ею устанавливается и неизбежно должен быть воспринят и пережит. Идея *неизменного порядка природы*, выдвигаемая современным научным развитием, есть

¹ В 1926 г. я писал «механизмом».

² О взрыве научного творчества см. ст. В.И. Вернадского [18].

тот элемент научного миропонимания, который резко отделяет проявляющееся научное мировоззрение ближайшего будущего от уходящего от нас все дальше и дальше представления о мире слепого случая, царившего в дни нашей юности.

ИЗОТОПЫ И ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО*

Сейчас, в связи с развитием физики и геохимии стала перед нами новая большая задача, быстрое разрешение которой кажется мне очень важным как по ее глубокому научному значению, так и по возможным приложениям к жизни (прежде всего к медицине).

Перед нами стал вопрос: есть ли материальное различие по существу между веществом, входящим в состав живых организмов, и веществом, составляющим косную материю – ту среду, в которой находятся организмы – биосферу.

Есть ряд данных, которые указывают, что атомы, входящие в состав живых организмов – в известной своей части, по крайней мере, – могут и, мне кажется, должны отличаться от атомов окружающей нас материи. Эти данные в то же время указывают, что вероятная причина различия заключается в том, что химические элементы организмов суть элементы чистые, т.е. состоят из атомов одного и того же рода. Эти данные заставляют предполагать, что живые организмы способны избирать определенные изотопы из их смесей, каковыми являются многие элементы окружающей нас среды. Если это так, то атомные веса некоторых химических элементов, выделенных из живых организмов, должны быть иными, чем атомные веса химических элементов, выделенных от окружающей косной материи. Насколько я знаю, такое определение не было сделано – ни весовым, ни иным путем – для огромного большинства элементов такого происхождения; исключение представляет кальций. Можно думать, что при определении атомного веса кальция исходным веществом не раз являлись в конце концов биогенные известняки, чаще впрочем исландский шпат, не связанный с жизнью. Однако характер биогенных соединений кальция различен, и в известняках сосредоточены остатки скелетных частей организмов, геохимическая история которых резко иная, чем остального кальция организма. К тому же, в случае если кальций разделяется в живом веществе на свои изотопы – веса 40,00 и 44,00, – то при малом количестве этого последнего (что видно из атомного веса обычного кальция 40,07, отличающегося только в сотых долях процента от 40,00) необходимо особенно внимательное отношение к определению его атомного веса. Близость атомного веса кальция в телах биогенного (хотя бы и отдаленного) происхождения в 40,0 заставляет думать, что организм удерживает тяжелый изотоп 44,0, а более легкий выделяется в скелетных частях. Единственное мне известное определение атомного веса кальция из этих частей (Баупа в 1842 г.), однако, дает 39,987.

* Впервые опубликовано в: ДАН СССР. 1926. Сер. А. С. 215–218. В дальнейшем опубликовано в: Биогеохим. очерки. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 84–87.

Как известно, сейчас в связи с проблемой изотопов идет тщательное определение атомных весов химических элементов возможно различного парагенезиса. Никакого, кроме как для некоторых свинцовых минералов (в том числе и не связанных ясным для нас образом с радиоактивным распадом урановых или ториевых тел), отличия в атомных весах не замечено. Его не нашли для Cl, Fe, Ni, As, Sb, Si, Mo. Не нашли различия и для «сложных» химических элементов метеоритов – для Ni, Mg, Cl, Fe, Si, которые дали атомные веса (смеси изотопов), тождественные с земными их проявлениями.

Уже в связи с этой общей проверкой атомных весов является необходимым произвести такую же проверку и для химических элементов, выделенных из живых организмов и из продуктов их жизни (биогенных и вадозных минералов).

Очень возможно, что строение земной коры таково, что в ее наружной оболочке – в биосфере – сконцентрированы чистые химические элементы в форме молекулярных систем, не заключающих смесей изотопов. Таким является живое вещество (форма организованности), меняющее все геохимические реакции и переводящее лучистую энергию Солнца в *химически активную* форму [11, с. 18, 27 и сл.].

Следующие данные позволяют ожидать, что характер химических элементов действительно в живом веществе своеобразен [11, с. 66].

Прежде всего данные, которые вносят геохимия и геология.

1. Отсутствие абиогенеза (т.е. каких бы то ни было указаний на него) в течение всей геологической истории.

2. Резко отличная от всех других *форма нахождения* химических элементов в живом веществе. Формы нахождения являются всегда проявлением их атомных свойств, а не молекулярных [11, с. 83 и сл.; 19, с. 34 и сл.].

3. Резкое преобладание однородных (т.е. состоящих из одинаковых атомов) химических элементов в составе живых организмов по сравнению с окружающими их косными телами. Так, процент таких элементов – по весу – достигает для живого вещества в разных его разностях 99% и больше и в среднем, вероятно, больше 95%. Характерно, что являются однородными химическими элементами, т.е. как бы чистыми изотопами, все те, которые обычно считаются органогенными: O, H, N, C и P. В косной материи земной коры такие элементы едва ли превышают 60%. Это явление не может быть следствием преобладания в живом веществе воды, состоящей нацело из таких элементов, так как результат не изменится, если мы исключим ее из наших суждений. Он правилен и для сухого остатка организмов [см. примечание в конце статьи].

4. Резкое отличие геохимической истории химических элементов организмов по сравнению с их историей в косной материи земной коры. В огромной части своей массы элементы организмов образуют свои самостоятельные циклы и, как, например, кальций или магний, не входят в обычные круговые процессы этих элементов биосферы. Эти элементы, раз войдя в живое вещество, не выходят из него, по-видимому, в течение всего геологического времени. Несомненно, это явление не охватывает всей массы вещества организмов; некоторая часть их ежегодно выходит из жизненных круговых процессов, но легко убедиться, что это ничтожная часть по весу; выделяющиеся таким путем тела в огромной своей части подготовляются, как отбросы, уже в самом

живом организме [19, с. 313]. По-видимому, как это видно для кальция, не во всех частях организма могут наблюдаться в нем одни и те же чистые изотопы (или даже вообще чистые изотопы). Это все, конечно, решит только опыт. Но факт очень трудного выхода химических элементов из жизненных вихрей и их неизменного в них нахождения в чрезвычайно долгие периоды времени кажется мне установленным. Мы видим любопытное подтверждение этого явления в геохимии суши. Здесь не получается накопления вещества, исходящего из организмов. «Прах» организмов немедленно же вновь входит в жизненные циклы или временно собирается в почве, всегда заключающей десятки процентов живого вещества.

Очевидно, должна быть какая-нибудь причина, которая обуславливала бы трудность выхода химического элемента из живой среды. В случае, если действительно все химические элементы живого вещества являются чистыми изотопами, а не их смесями, то, принимая во внимание, что миграция химических элементов в земной коре обуславливается законами равновесий разнородных средин, очевидно, что химические элементы будут находиться в устойчивом состоянии в живых веществах только тогда, когда свободная энергия этих систем будет минимально возможной при данных условиях. Этому условию должно отвечать исключение из таких равновесий – термодинамических полей живого вещества – смесей изотопов.

Чистые изотопы должны обладать меньшей свободной энергией при данных условиях, чем их смеси, и они будут в таком случае все время задерживаться в живом веществе. Их выход из живого вещества, которое можно рассматривать как целое, как единую систему, находящуюся в динамическом устойчивом равновесии миллионы лет, не может происходить без коренного нарушения энергетики системы. Очевидно, это может иметь значение только в пределе. Временный выход химических элементов из живого вещества несомненно происходит.

Я не буду здесь останавливаться на выводах из этого положения. Они должны быть сделаны, когда положение это будет опытным путем проверено. Но, помимо данных геохимического характера, есть чисто биологические указания, которые получают простое объяснение в случае, если действительно живые организмы отличаются характером своих элементов.

Так получают простое объяснение: 1) основное эмпирическое обобщение – «все живое происходит из живого» и 2) отсутствие абиогенеза в окружающем нас мире организмов. Объяснения надо искать в материальном различии живого и мертвого и в указанных особенностях энергетики живого.

Затем становится понятным старое обобщение К.М. фон-Бэра, которое он в свое время назвал «правилом бережливости». К.М. фон-Бэр, исходя из биологических наблюдений, указал на то, что организм чрезвычайно «бережливо» расходует – удерживает – вошедшие в него и им созданные химические тела, т.е., очевидно, и химические элементы, их составляющие. Он ярко указал это для азотистых тел. Мы видим здесь другое выражение той особенности в миграции химических элементов из живого вещества в окружающую косную материю и обратно, которую показывает нам сейчас – независимо от обобщений К.М. фон-Бэра – изучение геохимической истории химических элементов.

Нельзя не обратить внимание еще на одну особенность организмов, которая должна быть принята во внимание при изучении в них истории изотопов. Мы знаем, что смеси изотопов не могут быть разделены никакими химическими процессами, но могут быть разделены действием сил физического характера. Как раз в живых организмах наблюдаются многочисленные чрезвычайно разнообразные проявления физических сил, которые тесно связаны с биохимическими процессами. Это явления коллоидальные, контактовые, поверхностные, значение которых огромно и тонкость сочетания которых в живом иногда изумительна.

Область проявления этих сил с точки зрения наших современных представлений может приводить к разделению изотопов. Но этого никто не пробовал¹.

Таковы те соображения, которые делают, мне кажется, особенно желательным выяснение характера химических элементов организма с точки зрения их изотопов. Они указывают на возможность иного – по сравнению с косной материей – характера этих элементов. Конечно, решить вопрос может только опыт. Но эмпирический материал геохимии дает возможность утверждать, что какое-то различие в химических элементах живого и косного вещества должно существовать в области проявления именно атомных, а не молекулярных сил. Если бы выяснилась тождественность химических элементов этих двух средин с точки зрения изотопов, пришлось бы искать других причин их различия. Одна возможность была мною указана для углерода и, вероятно, связана с симметрией атомов химических элементов.

Я позволил себе задержать внимание Академии этими соображениями для того, чтобы подчеркнуть значение затронутой мной и моими сотрудниками темы.

ЗАМЕТКА ОБ ИЗУЧЕНИИ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА *

I

Живое вещество в своем отражении в окружающей нас природе играет совершенно исключительную роль. Оно дает начало всем горючим телам, на которых сейчас строится вся наша жизнь. Его продуктами являются каменные угли, бурые и смолистые угли, горючие сланцы, нефти, торфы, наконец сапропели (в широком смысле). Как известно, подавляющая часть энергии, окружающей жизнь в форме пара и в форме электричества, работа наших фабрик, наши средства передвижения получают из этих продуктов жизни; не связанные с жизнью белый уголь или ветер дают небольшую ее часть. Живые вещества определяют своей жизнью состав атмосферы (они – подавляюще главный источник свободного кислорода)², химию моря, в частности

* Доклад, сделанный в Комиссии по изучению естественных производительных сил СССР при Академии наук 17 мая 1926 г. Впервые опубликовано в: Научный работник. 1926. № 4. В дальнейшем опубликовано в Биогеохим. очерки. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 88–94.

¹ Это положение, в 1926 г. казавшееся верным, сейчас (1940) таким считаться не может. Изотопы открыты для С, N, NO, но вывод мой от этого не меняется. Как раз для всех этих химических элементов установлены в *живом веществе* колебания атомного веса, т.е. количественно нарушены смеси их изотопов в жизненном процессе. Сюда должно быть направлено внимание, организована систематическая экспериментальная работа.

² Так же азота.

состав морской воды, характер природных вод – (речных и озерных) пресных, соленых и части минеральных источников. Они дали начало главным отложениям известняков, доломитов. Процессы, связанные с морскими и озерными глинами и с почвами суши, теснейшим образом связаны с явлениями жизни, и живое вещество составляет по весу несколько десятков процентов этих тел. Железные, марганцевые, алюминиевые руды в очень большой, может быть, главной части связаны с явлениями жизни. Она дает начало фосфорным отложениям, селитрам, самородной сере. По-видимому, с нею связано образование некоторых рудных отложений: меди, ванадия, серебра, свинца. В газовом обмене Земли, помимо состава атмосферы, живое вещество играет решающую роль в истории сероводорода, азота, сернистого газа, метана, углекислоты, кислорода, воды. Трудно даже обнять косвенное значение живого вещества, имея в виду продукты его изменения, как угли или нефть, всюду рассеянные органические вещества – остатки жизни, находящиеся в природных водах, процессы сгорания при метаморфизации и т.д.

Можно сказать, что главным, может быть единственным, трансформатором солнечной энергии в химическую является в биосфере живое вещество, и оно же разносит ее по всей нашей планете. Без него химические явления планеты, а следовательно и все вопросы, связанные с естественными производительными силами, получили бы совершенно иное освещение и были бы совсем иными, чем они являются ныне.

II

А между тем живое вещество в этом своем проявлении никогда систематически не изучалось и не изучается. Организмы здесь проявляются не в своей морфологической или физиологической автономности, а в своей массе, в своем составе, в своей геохимической энергии, т.е. в способности, им присущей, производить химическую работу в биосфере, проявлением которой являются и те многочисленные тела, строящие земную кору, которые выше указаны. Сейчас нет данных и наблюдений. Весом, химический состав, геохимическая энергия организмов для нас в значительной мере *terra incognita*, а между тем мы на каждом шагу при изучении естественных производственных сил с ними сталкиваемся. По мере научного охвата этих явлений отсутствие этих данных становится все более ощутимым. Нам необходимы количественные данные о составе, весе, об энергии видов организмов в их массовом проявлении в биосфере.

Отсутствие этих данных связано с отсутствием интереса к этим явлениям среди натуралистов. Отсутствие этого интереса, очевидно, не может долго продолжаться. Ибо все настойчивее выдвигаются важные проблемы чистого знания, для которых совершенно необходимо систематическое собирание тех же чисел.

III

Наука подходит к этому с двух сторон. С одной стороны, этого настойчиво требует развитие геологических наук, прежде всего геохимии. Изучение геологии, без всяких сомнений, указывает нам, что связь биосферы с живым веществом не случайна. Биосфера составляет совершенно определенную область планеты – это ее приемник для космических лучевых излиятий. Зем-

ная кора и биосфера, составляющая ее верхнюю часть, не есть случайное явление в нашей планете – это проявление закономерной структуры, организованности¹, согласованной в своих частях, и часть этой планетной организованности составляет охваченное жизнью вещество – совокупность всех организмов, т.е. живое вещество. В этой организованности функции живого вещества строго определенные. Оно в своей зеленой части перехватывает и превращает в земную – световую космическую энергию Солнца. Оно в этом отношении занимает в земной коре определенное положение, так как другие космические излучения захватываются и перерабатываются другими аппаратами той же [организованности]: ультрафиолетовые–озоновым экраном стратосферы и высокой свободной атмосферы², тепловые – земной поверхностью, главным образом океаном. Для выяснения этих планетных явлений явления жизни неизбежно должны быть выражены иначе, чем мы их привыкли охватывать в биологических науках.

Морфология и физиология организма, сам отдельный индивид отходят на второй план, а на первый выступает совокупность организмов, причем эта совокупность должна быть выражена в числах – в весе, в химическом составе, в энергии³. Это то, что я назвал (1917–1918 гг.) живым веществом. В том же своем облике – в форме живого вещества – организмы играют преобладающую, неизменную в течение всех геологических периодов роль в геохимической истории большинства, вероятно всех, химических элементов. При изучении геохимических явлений мы на каждом шагу сталкиваемся с неуклонным, постоянным вхождением живого вещества в правильно повторяющиеся из года в год, из века в век круговые химические процессы почти всех химических элементов. Можно даже видеть, что живое вещество, внося в эти круговые процессы солнечную энергию, их поддерживает, их создает. Но никогда почти мы не можем правильно и точно учесть это влияние, так как мы сталкиваемся с резким различием наших знаний о живом существе по сравнению с входящими в те же процессы природными газами, природными водами, горными породами и минералами. Мы не можем сравнивать две части тех же процессов, так как мы не знаем ни химического состава, ни веса, ни геохимической энергии организмов в той мере, в какой нам давно известны в этом отношении тела косной среды биосферы.

В последние годы все ярче и настойчивее выявляется значение тех же самых чисел – главным образом химического состава, отчасти веса – в вопросах чисто биологических. Уже в 1870-х годах, пятьдесят лет назад, начало ясно сказываться представление о резком различии химического состава разных видов организмов и стали появляться попытки изучения организмов как определенных, различных, химических систем. Корни этих представлений уходят глубоко в XVII столетие, и более ста лет назад Рейль ярко, с глубоким проникновением выразил необходимость химического анализа, химического представления об организме. В его время – до создания представления об единой протоплазме и о немногих специфических элементах – задача химического изучения организма и искания в его химии объяснения его мор-

¹ В 1926 г. было напечатано «механизма».

² Ионосферы.

³ В характере пространства.

фологических свойств казалась естественной. Мы видим, как в последнее время все сильнее и все глубже эти одно время заброшенные искания вновь получают силу и значение, правда, отчасти в новых формах выражения. Химия и биохимия вновь входят в кругозор всех биологических вопросов, в том числе и тех, которые связаны с систематикой и с проявлением организмов в природе. Они быстро приобретают здесь все большее значение, и явно недалеко время, когда оставление без внимания химии организма и его химического состава при его изучении станет невозможным. Химические свойства могут и начинают рассматриваться как видовые признаки; наряду с морфологическими и физиологическими видами выдвигаются виды биохимические (С. Иванов, 1926 г.).

Эти новые представления в корне меняют прежние идеи об единой протоплазме, как субстрате жизни. Одновременно не менее глубоко меняются воззрения о существовании немногих органогенных элементов, необходимых для ее проявления. В биохимическом мышлении все более укореняется убеждение в огромном значении для решения его проблем всех химических элементов, находящихся в организме, в том числе тех, которые встречаются в «следах» и раньше не обращали на себя внимания. Коренное изменение, которое сейчас совершается в наших представлениях о химическом элементе, об его нахождении в окружающей среде, придает еще большее значение попыткам химического охвата жизни.

Совпадение тенденций научных исканий в прикладном и теоретическом охватах явлений жизни дает все основания думать, что вопрос этот подходит к своему разрешению. И тем более необходимым является сейчас направление усилий, организация работы в этой области. Такая организация может и должна идти в трех направлениях, в которых организмы проявляются в биосфере и создают в ней или участвуют в ней в создании потенциальных, нужных человеку производительных сил.

Во-первых, необходимо получить данные о химическом составе организмов, во-вторых – об их весе и, в-третьих – об их геохимической энергии, т.е. о способности их производить передвижение химических элементов в земной коре. Организация получения этих данных в определенной системе, в определенный срок, в нужном размере является сейчас тем срочным делом, какое выявляется при изучении естественных производительных сил.

IV

Прежде всего остановимся на химическом составе. С геохимической точки зрения на первое место выступает элементарный химический анализ. Без знания элементарного состава организма невозможны никакие рассуждения о его химическом значении в биосфере. Несомненно, более точное – полное количественное – знание составляющих организм соединений имеет очень большое значение при решении очень многих проблем, связанных с производительными силами. Но оно должно быть основано на знании элементарного состава: пока этот состав не известен, вся наша работа в этой области будет тщетной и случайной.

Долгое время, особенно в области биохимии, царило представление об основном значении для понимания явлений жизни молекулярных структур; чем сложнее эти структуры, тем ближе себя чувствовал исследователь к веч-

ной загадке жизни. Одинокие голоса людей [таких], как И.Д. Лукашевич, выдвигавших значение атома и к нему направляющих разгадывание жизни, было диссонансом. Сейчас настроение начинает меняться. Вновь выдвинулось значение «бесконечно малых» (Г. Бертран) элементов, находящихся в «следах» и едва уловимых нашим анализом количествах. Я говорю вновь, так как в истории науки более 100 лет назад было время, сейчас забытое, когда эти явления подходили к очереди дня.

Мы переживаем сейчас в этой области явлений резкое изменение наших представлений. Атом действительно, но в другой концепции, является для нас центром сил, как это имело место в идеальной динамической конструкции вещества Р. Бошковича в XVIII столетии. Больше того, в мире нашей планеты атом является вместилищем максимальной нам известной концентрации энергии¹.

Новые науки, связанные с изучением атомов, а не только с изучением их совокупностей – материей, вошли в наше научное понимание мира. К их числу относится геохимия, значение которой в понимании и в выяснении проблем, связанных с потенциальными производительными силами земной коры, огромное, во многих случаях самое первостепенное.

Очевидно, и в биогеохимических проблемах изучение атомов должно выступать на первое место. В связи с этим их количественный учет в живом веществе – элементарный его анализ – должен приобрести особое значение. Это значение должно отразиться и на наших научных представлениях об этих явлениях. Наши анализы должны выражать атомные свойства, должны отражать процентные атомные отношения, существующие в живом веществе, а не весовые, как мы это обычно сейчас делаем. Правда, в биохимии мы учитываем количественные отношения между атомами, когда создаем в своем мышлении химическую среду, состоящую из молекул, выраженных в дальтоновских формулах.

Но мы выходим из этой области представлений, когда переходим к обычным химическим анализам организмов. Надо дать и этим данным то же выражение, особенно теперь, когда атомы понимаются по-новому. На значение таких способов выражения анализов обратил внимание впервые, кажется, много лет назад Д. Акройд, независимо от него его ввел в геохимию А.Е. Ферсман (1912 г.), и сейчас этот способ представлений все больше и больше охватывает проблемы химии, геохимии, космической химии. При таком перечислении состав организмов получает совершенно иной облик и тесно связывается с обычным языком биохимии, какой в ней господствует при обсуждении молекулярных структур и растворов организма.

Но введение атомных представлений вносит еще большее изменение нашего подхода к химическому анализу живых веществ. Выступает нерешенный пока вопрос о тождественности или различии химических элементов, входящих в состав живых и в состав косных частей биосферы. Великое открытие сложности состава обычных наших химических элементов, их состава из атомов разного строения и разной истории, одинаковых по химическим, но близких, хотя явно различных по своим проявлениям, физическим – из разных изотопов – заставляет обратить внимание на характер с этой точки

¹ Им в окружающее пространство излучаемой.

зрения элементов, строящих живое вещество. Конечно, это не может относиться к таким химическим элементам, органогенным как раз, которые не состоят из смеси изотопов, – к кислороду, водороду, азоту, углероду¹. Но оно приложимо ко всей массе остальных элементов, создающих живое – к кальцию, магнию, железу, хлору, калию, цинку, меди, кремнию, свинцу и т.д.

Сейчас научная работа в области изотопов очень напряженна, так как мы здесь встречаемся с загадкой: с необычайным постоянством состава смесей изотопов в обычных элементах во всех их природных находениях (т.е. с их неизменным атомным весом) не только в земной коре, но и в метеоритах, приходящих к нам из космических пространств. Только в случаях радиоактивных распадов элементов мы встретили исключение для свинца, минералы которого содержат иногда разный свинец или разные смеси свинцов. Для нас это постоянство остается пока совершенно загадочным.

Тождественность химических свойств изотопов для одного и того же элемента заставляет искать методов их отделения физическими приемами. До сих пор наши усилия в этом направлении привели только к убеждению в возможности такого разделения, но само разделение встретило огромные технические трудности. Среди множества определений атомного веса элементов никогда не было оно сделано ни для одного из элементов живого вещества. Такой вопрос явно стоит на очереди и должен быть разрешен. Ясно, что то или иное его решение должно иметь огромное значение. Тем более, что есть ряд явлений жизни, которые особенно заставляют искать ответа в этом направлении. Таково, прежде всего, великое обобщение Ф. Реди и А. Валлиснери – *omne vivum e vivo* (все живое происходит от живого). Не особым ли состоянием некоторых элементов оно объясняется? Затем глубокое, оставляемое обычно натуралистами без внимания старинное обобщение нашего академика К.М. фон-Бэра, подтвержденное в полной мере данными геохимии. Это обобщение указывает, что, раз попавши в живое вещество, те же атомы непрерывно в течение миллионов лет остаются в жизненном цикле. К.М. фон-Бэр назвал свое обобщение законом бережливости; он указал его для углерода и азота.

Наконец, исключительный характер основных органогенных элементов, отсутствие изотопов для водорода, кислорода, азота, углерода, о котором я упоминал, и выяснившееся в физиологии и в биохимии исключительное значение физических процессов – явлений коллоидных, капиллярных, контактных – в функциях организма также требуют нашего внимания².

Их изучение не может идти без одновременного исследования элементарного химического состава организмов. Это ярко выяснилось нам при первых попытках охватить строение атомов калия в живых организмах.

Но я хотел здесь остановиться на этом вопросе для того, чтобы ярче подчеркнуть значение элементарного химического анализа природных тел

¹ Так казалось в 1926 г. В 1935 г. мы знаем, что все эти элементы сложные; есть три рода атомов водорода и кислорода, несколько, частью «искусственных», углерода и азота.

² Как уже указывалось (см. стр. 103), все указанные четыре элемента сложные. Но не ясно до сих пор, каков состав их в организмах. Ясно, что водород, тяжелый и обыкновенный, может разнно реагировать на организм. Это сейчас исследуется в ряде лабораторий, у нас в Биогеохимической лаборатории. Область «молекулярных» явлений, здесь указанная, должна быть для организмов изучена с точки зрения изотопов.

в переживаемую стадию научного развития. К тому же ясно, что если разделение изотопов некоторых элементов действительно происходит в жизненном процессе, перед нами откроется новый источник производительных сил, так как, очевидно, в ряде явлений (например, в медицине) свойства элементов, выделенных из живого, могут быть иными и нами используемы иначе, чем для тех же элементов, выделенных из косной материи¹.

V

Я не буду здесь входить в рассмотрение организации работы для быстрого приобретения точных количественных познаний о химическом элементарном составе живых веществ. Задача заключается в получении в возможно короткий срок точных количественных данных об элементарном составе наиболее обычных видов организмов и в получении точного представления о валовом геохимическом эффекте – среднем элементарном составе живого вещества планеты. Этот атомный состав не случаен, он ясно определяет химическую работу жизни.

Путь трудный, но неизбежный. Придется выработать новые методы работы и можно будет идти только при широкой поддержке всех научных организаций прикладного и теоретического характера, на первом месте наших биологических станций разного наименования – организаций агрономических, лесных, прикладных ихтиологических и прикладных энтомологических. Сама, создавая центр такой работы, наша Комиссия должна прежде всего обратиться к помощи всех этих организаций и к их поддержке. Одна она, без широкого сочувствия и поддержки, будет бессильна.

VI

Средний вес организмов нам известен еще в меньшей степени, чем их химический состав. В суждении о производительных силах – в вопросах плодородия, учета добычи и использования всех нужных человеку тел – металлов, руд, животных и растительных продуктов во всех их видах – вес играет основную роль. Мы все сводим к весу и в его единицах выражаем производимую работу, наши потребности, важные нам ценности. Очевидно, в весе должна быть выражена и работа жизни, поскольку мы сталкиваемся с ней в производстве – в природе – нужных нам потенциальных ценностей. Но и помимо этого, познание веса является основным и необходимым элементом во всем энергетическом охвате природы, когда мы учитываем силу, результаты проявлений которой мы изучаем. Изучение влияния жизни в биосфере неизбежно должно опираться на точное знание веса живых веществ.

Это – область, почти не затронутая нашим знанием. Мы не знаем среднего веса самых обычных живых организмов, например всех зеленых растений. Отсутствие знания веса организмов является одним из главных препятствий для выражения в числах производимого ими геологического и геохимического эффекта. Здесь приходится выработать самые приемы измерения веса, нахо-

¹ Это уже имеет место сейчас, при самом начале работ в этой области. Искусственный радиоактивный натрий, едва открытый (1934 г.), становится продуктом, имеющим денежную ценность; то же тяжелый водород. Это, конечно, начало больших новых экономических ценностей. Смеси изотопов – элементы из тел организмов, например, Са, могут быть иными по свойствам.

дить методы точной работы, ибо трудности определения среднего веса живых организмов очень велики и во многих случаях надо будет прибегнуть к косвенным приемам. Это – задача, которая должна быть прежде всего сделана¹.

VII

Наконец, последняя задача связана с определением геохимической энергии живых организмов, т.е. учета их способности производить в биосфере геохимическую работу, вызывать перемещение в ней химических элементов. Для учета геохимической энергии необходимо, кроме веса, знать точно количественное размножение организмов [21 и 11]. К сожалению, и здесь мы встречаемся с чрезвычайной случайностью, неполнотой и бессистемностью, несмотря на то, что данные этого рода имеют огромное, первостепенное значение в биологии.

Для очень значительного числа организмов точные данные совершенно отсутствуют, для всех они очень неполны. Хотя несомненно, что размножение определяется числами, характерными для каждого вида или расы и для них стойкими, мы не имеем их точного выражения и в лучшем случае имеем указания пределов колебания.

Ярко выделяется состояние наших фактических знаний о размножении животных при сравнении сводок состояния вопроса – Р. Лейкарта (1852 г.), В. Генсена (1881 г.), Р. Шмидта (1909 г.). Сравнивая их, можно убедиться, что фактический материал мало улучшился после Р. Лейкарта и даже сравнительно с другими областями биологии мало вырос. В достаточно глубоком теоретическом охвате он никогда не разрабатывался, хотя в основе биологической мысли, например таких крупных учений, как учение Мальтуса или Дарвина, лежат данные размножения. Материал, который положен в их основу, критически не переработан и недостаточен.

Для познания роли жизни в создании потенциальных производительных сил земной коры точное знание явлений размножения организмов не менее важно, чем знание их химического элементарного состава и их веса. Эти данные должны быть получены совместно и одновременно для одних и тех же организмов. Конечно, полное и точное определение этих величин есть дело поколений. Но сейчас необходимо организовать получение первых самых важных данных, из бесконечно представляющихся случаев выбрать их так, чтобы мы могли дать первое приближенное количественное выражение геохимической работы живого вещества в биосфере. Эта задача вполне разрешима. Первые же данные, систематически собранные, скажутся глубочайшим и разнообразнейшим образом в нашем знании потенциальных производительных сил планеты и неизбежно будут иметь огромные отражения в жизни, так как уяснят для нас практические задачи применения и использования этих сил.

Стоящая перед нами на очереди работа – организация таких исследований – должна, наконец, начаться, и правильным будет решение Комиссии взять на себя почин в этом большом, нужном и обещающем большие результаты деле².

¹ Отдельные работы мои, сюда относящиеся, или собраны в этих «Очерках», или указаны в библиографии.

² В результате обсуждения этого доклада создан был Биогеохимический отдел при Комиссии по изучению естеств.-произв. сил в 1927–1928 гг., выделившийся в 1928 г. в особую Биогеохимическую лабораторию Академии наук.

О НОВЫХ ЗАДАЧАХ В ХИМИИ ЖИЗНИ*

I

В своем сообщении я хочу коснуться некоторых вопросов естествознания, которые выдвинулись в последние годы. Хотя они сейчас не имеют еще практического приложения, и врачи, в частности, не могут пользоваться ими в своей работе, мне кажется несомненным, что в ближайшем будущем они должны оказать такое же огромное влияние в области биологических наук и их приложений, какое они сейчас оказывают в области наук физико-химических и геологических.

Врач имеет перед собой вековую огромную область эмпирических наблюдений, далеко превышающую достижения точного знания. Объяснение наблюдаемых им явлений связано с ходом естествознания, и оно не только далеко не охватило сейчас – при всех его успехах – всю область медицины, но и меняется, иногда резко и коренным образом, при дальнейшем развитии науки. Врач вынужден поэтому всегда присматриваться к новым течениям естествознания и, учитывая их, вносить поправки и иначе оценивать те объяснения, которые сейчас как будто вытекают из данных точного знания.

Новые области естествознания, о которых я говорю, связаны с коренным изменением наших воззрений на строение материи, в частности с изменением наших воззрений на атом и на химический элемент, изменений глубочайшим образом охвативших науку XX столетия.

Два обстоятельства должны быть нами в этой области сейчас же учтены.

Во-первых, то, что строение материи из атомов вышло сейчас на области теории и является для нас реальным фактом наблюдения, и во-вторых, то, что указанная раньше теоретически И. Дальтоном тождественность атома и химического элемента получила свое полнейшее подтверждение и может сейчас считаться эмпирически установленной. Из этих двух положений вытекает целый ряд огромнейшей важности следствий, далеко превышающих их уже учтенное нашим сознанием значение.

Позволю себе короткое отступление в недавнее прошлое, хочу отметить недавно пережитый опыт достижения этих обобщений, который не следует забывать, так как он дает нам мерку нашей оценки происходящего, побуждает нас к осторожности в суждениях.

Конец прошлого века – в области физических наук – казался ученым, самым крупным мыслителям того времени, приближением к новому для человечества представлению о [непрерывном] строении материи. Атомистические воззрения теряли почву даже в той области, где они непрерывно царили несколько поколений, – казалось, они теряли почву даже в химии.

И как раз в это время подошли те научные достижения, которые неожиданно прочно установили современное атомистическое представление о материи. В несколько лет картина хода научного процесса, представлявшаяся наблюдателю, коренным образом изменилась. Быстро отошли и также

* Лекция, прочитанная в эссенгукской клинике Бальнеологического института Кавказских Минеральных Вод в Эссентуках в августе 1926 г. Впервые опубликовано в: Тр. Бальнеолог. ин-та Кавказ. Мин. Вод. 1927. Т. 5. С. 3–16. В дальнейшем опубликовано в: Биогеохим. очерки. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 95–107; Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. С. 213–227.

быстро были забыты надвигавшиеся построения [непрерывной] материи, и атомистические представления охватили науку с силой и широтой, каких они никогда не имели в течение трехтысячелетней ее истории. Еще удивительнее то, что, охватывая сейчас, через 20–30 лет позже, ход научного развития в этой области знания, мы видим, что представления современников – нас в молодости – были в корне ошибочны, в действительности все это время непрерывно, шаг за шагом, подготовлялось именно современное – атомистическое – понимание мира, правда, долгое время состоявшее из разрозненных обобщений и фактов, не охватывавшихся синтезирующей мыслью.

Нужно, однако, отметить, что тот атом, с которым мы сейчас имеем дело, резко, коренным образом, отличен от атома XIX и прежних веков, от атома дней нашей молодости. Можно было бы без всякого ущерба для дела заменить слово «атом» другим словом.

Кризис *атомистического мировоззрения* в конце XIX века заключался не в замене его *динамическим (непрерывным)*, а в коренном перерождении *представлений об атоме*.

«Мельчайшее не делимое никаким путем тело» древней философии и недавней науки – атом – превратился для нас в сложную систему мельчайших телец – систему, в которой мы можем учитывать и измерять расстояния, размеры, движения, число составляющих ее телец, знать их некоторые другие свойства. Атом оказался теснейшим образом связанным с энергией, мельчайшие элементы которой так или иначе входят в систему атома. Непроходимая граница между материей и энергией для нас сейчас исчезла; взятый отдельно атом не являет нам столь привычных свойств материи – жидкой, твердой или газообразной. Материал в известных и всем нам ясных свойствах есть совокупность атомов. Сам атом, ее строящий, не есть материя, не есть «материальное» тело¹.

До известной степени мы можем представить себе картину явлений, отвечающую атому, воспользовавшись аналогией с другими нам известными процессами, можно дать даже очень ясный образ его строения.

Мы не должны, однако, забывать, что в этом образе всегда наряду с точно установленными, научно верными данными заключаются идеальные построения нашего ума, без которых мы не можем идти – вообще никогда – в научном понимании окружающей природы.

Идея, которая позволила нам разобраться в некоторых основных или чрезвычайно важных для понимания природы свойствах атома, была высказана в самом начале XX столетия выдающимся английским физиком Дж.Дж. Томсоном. Он предположил, что система атома аналогична планетной или звездной системе и составлена из телец, находящихся в определенном закономерном движении. Представления Томсона оказались слишком сложными и громоздкими и были вскоре же оставлены, но его основная мысль была развита немедленно рядом ученых, среди которых выдвигаются работы англичанина Э. Резерфорда и молодого гениального датчанина Н. Бора. Она оказалась чрезвычайно плодотворной. Сходство планетной системы и строения атома не кажется случайным совпадением – оно является проявлением единства вселенной. В этом смысле идея Дж. Томсона аналогична идее И. Ньютона,

¹ Вернадский В.И. Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 1. С. 12. – Ред.

связавшего вращение Луны вокруг Земли, Земли и планет вокруг Солнца и падение яблока с дерева и других тел на нашей Земле как проявление одной и той же силы – всемирного тяготения¹.

Аналогия строения атома со строением планетной системы, конечно, неполная, но она заключается, во-первых, в том, что в обеих системах можно различить центральное тело (Солнце – и ядро атома), резко превышающее по размерам движущиеся вокруг него меньшие тела, во-вторых, в том, что в общем объеме и планетной системы и атома материальные тела составляют ничтожную его часть. Остальной объем – поле атома – является материально пустым.

Размеры атомов, так понимаемых, отвечают таким объемам, диаметр которых отвечает порядку 10^{-8} см. Размер ядра (заряженного электрически положительно) порядка 10^{-12} см; вокруг него движутся мелкие атомы электричества – электроны (заряженные электрически отрицательно) порядка 10^{-13} см.

Масса атома главным образом связана с ядром; вес всех электронов является ничтожной ее частью².

Такую систему телец можно себе представить, увеличив размеры атома, например, до размеров большой комнаты. В центре ее будет ядро, диаметр которого будет десятитысячной частью поперечника комнаты (пылинка), а некоторое количество электронов будут иметь диаметры, равные стотысячным долям поперечника комнаты. В общем это будут пылинки, висящие в комнате, причем меньшие будут вращаться вокруг большей. Все остальное пространство будет «пустым».

Сейчас нам открывается строение ядра – оно имеет приблизительно такое же строение. И в нем ничтожная часть занята материальной частицей или атомами электричества, причем порядок размеров этих телец в нем тот же – десятитысячные и стотысячные доли ядра.

Вероятно, такого же строения окажутся и электроны.

Как мы видим, одним из основных проявлений такого строения атома является ничтожное место, какое в нем занимает масса, т.е. то, что для нас является основным проявлением материального явления.

В последнее время такое строение атома – существование в нем огромных «пустых» мест, материально не заполненных пространств, – получило неожиданное подтверждение из наблюдений явлений движения и света звезд. Английский астроном А. Эддингтон, изучая движение некоторых звезд, столкнулся с необходимостью допустить для них состав из чрезвычайно тяжелого газа. Так, в 1 см^3 звезды В – спутника самой яркой звезды нашего неба – Сириуса – должно заключаться 53 000 г материи. Для того, чтобы иметь представление об этом числе, мы должны вспомнить, что в 1 см^3 воды содержится всего 1 г, а в самом тяжелом теле, нам известном на Земле, в иридии – всего 23 г.

Правильность этого определения Эддингтона была для этой звезды подтверждена в прошлом (1926) году В. Адамсом изучением ее спектра. Исходя

¹ Ньютон сам не говорил о «всемирном тяготении» и иначе понимал свои основные научные выводы.

² Масса электрона равна $5,4 \cdot 10^{-4}$ части веса водорода. Для самого богатого электронами атома (урана) масса его электронов будет равна $1/5000$ веса этого атома.

из положений теории относительности В. Адамс вычислил, что линии красной части ее спектра – при такой плотности ее вещества – должны быть сдвинуты на 0,3 часть ангстрема (т.е. $3 \cdot 10^{-60}$ см). Наблюдение подтвердило этот вывод, сразу дав новую поддержку и теории относительности и вычислениям астрономов.

Очевидно, такая материя не может состоять из атомов диаметра 10^{-8} см, с которыми мы имеем дело на Земле, не дающих масс больше 23 г в 1 см^3 (и то для твердого тела, для газа – меньше). Но ядра атомов или даже сжатые атомы – с меньшим, чем обычные, пустым пространством – вполне могут дать нам газ, наблюдаемый на В Сириуса.

Мы получили возможность точно изучить свойства атома благодаря второму указанному новому достижению – подтверждению идеи Дальтона о тождественности химического элемента с атомом, строящим какое-нибудь тело.

Мы можем выразить это иначе: можно сказать, что разных атомов, отличающихся своим строением, т.е. разных миниатюрных аналогов планетных систем, может быть столько, сколько может быть химических элементов.

Число возможных химических элементов мы знаем, благодаря открытию периодической системы элементов нашим великим ученым Д.И. Менделеевым. Когда Д.И. Менделеев строил свою систему в 1868 г., ему было известно около 67 химических элементов, самым легким из которых был водород, вес атома которого был принят за 1, а самым тяжелым уран, атомный вес которого был в 240 раз большим. Д.И. Менделеев считал, что между этими пределами должно помещаться не 68, а 92 химических элемента¹. Этот его вывод получил окончательное подтверждение в этом году; еще в 1924 г. оставались неоткрытыми 5 простых тел – элементы² № 43, 61, 75, 85, 87; с тех пор все они указаны с большей или меньшей достоверностью в земных продуктах.

Мыслимо существование элементов, которые расположатся до водорода и после урана, но в пределах между водородом и ураном других быть не может. Для элементов легче водорода есть некоторые указания на нахождения их в небесных телах, для атомов, более тяжелых, чем уран, мы этого не имеем³.

Таким образом, принятие тождественности атомов и химических элементов приводит нас к заключению, что атомов с атомными весами от 1 до 240 может быть всего 92.

Мы должны на основании этого положения заключить, что Д.И. Менделеев дал нам не только таблицу возможных химических элементов, но возможных сортов атомов в мироздании. Этого он не думал, когда сделал свое великое открытие. Мы сейчас увидим, что ни он, ни кто-либо другой до 1916 г. не видел и другого огромной важности положения, скрытого в таблице Менделеева.

¹ Менделеев сперва принимал 86 элементов; поправка была внесена открытием благородных газов и указана В. Рамзаем.

² Номера – атомные числа, или числа Мозли, – в порядке их расположения в Периодической системе Менделеева.

³ Указания на нахождение элементов легче водорода становятся все более сомнительными. Возможность существования элементов более тяжелых, чем уран, проверяется сейчас опытом.

А между тем таблица Менделеева остается незыблемой; не только все вновь открытые 24 элемента нашли в ней место, но она вскрыла нам свойства атомов. Д.И. Менделеев, устанавливая свою таблицу, считал основным проявлением химического элемента атомный вес и, располагая элементы по их химическим свойствам, полагал, что они должны располагаться пропорционально атомным весам. Несколько элементов не подчинялись этому правилу, и Д.И. Менделеев предположил, что их атомные веса определены неправильно, и его заключение при проверке вполне подтвердилось. Но для двух групп элементов, никеля – железа и иода – теллура, это объяснение оказалось не отвечающим фактам, и Д.И. Менделеев, придавая большое значение совокупности химических свойств, оставил эти элементы на их местах, несмотря на противоречия их места установленному им правилу. Он думал и высказывал, что будущее даст объяснение этому явлению. И он был прав¹.

Прошло 48 лет. Д.И. Менделеев давно умер. Ни он сам и никто из бесчисленных мыслителей и ученых, вдумывавшихся в его таблицу, не видел в ней ничего нового против того, что видел в ней ее создатель. Новый гений явился в новом поколении – внуков Менделеева – молодой англичанин Г. Мозли, вышедший из семьи талантливых натуралистов, – и он указал новое явление, Менделеевым не замеченное.

Судьба Г. Мозли была трагична: он погиб в цвете лет, молодым, в 1916 г. в Дарданеллах; успел перед уходом на войну сдать в печать недоконченную работу, после смерти его доведенную до конца его друзьями и сотрудниками. Г. Мозли доказал, что в таблице Менделеева основным является не атомный вес, а место, занимаемое элементами в периодической системе, порядок их чередования; этот порядок должен отвечать количеству электронов, вращающихся вокруг ядра в атоме². Этот порядок распределения химических элементов называют характерными *атомными числами* элемента. Водород является № 1, а уран отвечает 92-му атомному числу. Может быть справедливо, как предлагают, называть их числами Мозли.

Я считаю нужным остановиться на несколько минут на гибели Г. Мозли. Это одно из великих несчастий, и среди великих бедствий и ужасов, принесенных преступной мировой войной, его гибель не может быть оставлена без упоминания. Это надо помнить. Человеческая личность, как все в окружающем нас мире, не есть случайность, а создана долгим ходом прошлых поколений. И такие крупные умы, как Г. Мозли, являются редко и должны всячески оберегаться. Что погибло с его безвременной кончиной – мы не знаем. Из истории науки мы знаем много примеров, когда только через несколько поколений вновь находилось то, что было в свое время открыто – но не опубликовано – отдельной выдающейся личностью. Вполне возможно и мыслимо, что много осталось и совсем скрытым для человечества безвременной гибелью тех, мысль которых могла бы до этого достигнуть.

¹ Выяснилось, что установленное Д.И. Менделеевым правило пропорциональности может быть теоретически верно, несмотря на эти отклонения: если брать наиболее легкие изотопы, указанная правильность может сохраниться.

² Различие химических элементов по количеству таких электронов было указано гипотетически Ван-дер-Бреком. Г. Мозли исходил и из его гипотезы. Сейчас выяснилось, что Г. Мозли по ошибке думал, что первенство принадлежит Ван-дер-Бреку. Он вычитал в нем то, чего Ван-дер-Брек не думал.

Великое преступление совершили те, которые допустили Мозли на дарданельский фронт.

Г. Мозли дал простой способ определять атомное число, исходя из изучения рентгеновских спектров элемента; все последние 5 элементов, открытые после 1924 г., были установлены этим путем. Он связал элемент с атомом и менделеевскую систему превратил в систему атомов.

За несколько лет перед ним другой англичанин, Ф. Содди, ввел в эту систему другое – не менее крупное изменение – без которого отождествление атома и химического элемента было бы невозможно.

Дело в том, что количество разных форм атомов значительно превышает 92. Мы знаем сейчас более 150 таких разных атомных структур; число это увеличивается с каждым годом. И хотя мы точно не знаем их числа, все указывает, что это число определенное и значительно больше 150. Теоретически, правда, на основании гипотез, требующих поправок, это число устанавливается, например, проф. С.А. Щукаревым – в 300 форм атомов; это число дает порядок возможного их предела.

Как бы то ни было, мы стоим перед противоречием: возможно и найдено в пределах между водородом и ураном 92 элемента, и найдено в этих же пределах 150 атомов¹.

Как же согласовать это противоречие?

II

Это было сделано в 1910–1911 гг. английским ученым Ф. Содди. Он ввел новое понятие *изотопов* и установил опытом, что атомы разного строения могут обладать одинаковыми химическими свойствами. Он показал, что известные уже в 1911 г. несколько различных свинцов, совершенно не отличимых химически, обладают различным строением атомов, и что все эти различные атомы попадают в одно и то же место, № 82, Периодической системы Менделеева.

История научной работы Ф. Содди дает нам яркий пример такого же значения отдельной человеческой личности, ее огромной ценности, как и история трагически погибшего Г. Мозли. Ему мы обязаны введением двух совершенно новых представлений в человеческую мысль. Он объяснил явление радиоактивности через 10 лет после ее открытия – вместе со своим учителем Резерфордом – как распадение химического элемента и отвечающего ему атома. Открывшие это явление Беккерель и супруги Кюри² этого не понимали: не признавали этого и те сотни ученых, которые эти годы шли и работали в этой новой области. Тот же Содди позже открытия нескольких свинцов связал их с Периодической системой Менделеева, введя понятие изотопов и дав таким путем реальное обоснование тождественности химических элементов и атомов при большем числе последних, по сравнению с химическими элементами.

Ф. Содди назвал изотопами атомы разного строения, но химически тождественные, указывая этим (U^{238} – равный, U^{235} – место), что они занимают одно и то же место в Периодической системе.

¹ Сейчас ясно, имея в виду «искусственно» возникающие скоротечные изотопы, что число изотопов очень велико, возможно много больше, чем те сотни, которые допускали до сих пор теоретики, переходящие за границы опыта и наблюдения.

² М. Кюри независимо поняла причину радиоактивности (1939).

Очевидно, смесь изотопов химически неразделима. Почти в то же время два других англичанина, учитель и ученик – Дж.Дж. Томсон и Ф. Астон – доказали, что обычный неон состоит из смеси нескольких изотопов, а Астон смог это явление констатировать для значительного числа других элементов, каковы, например, железо, магний, калий и т.п. Астон установил, что атомные веса изотопов обычно представляют целые числа¹, если их отнести к водороду, атомный вес которого приняли равным 1,008.

Мы имеем, однако, случаи, когда можно некоторые изотопы, связанные с радиоактивным распадом, изучить в чистом виде.

Так, например, мы знаем, что уран и радий в конце концов переходят в свинец атомного веса 206,0, а торий – в свинец атомного веса 208,0. Обыкновенный свинец всегда имеет атомный вес около 207,1. Принимают, что он состоит из смеси свинцов в 206,0 и 208,0, всегда в одной и той же пропорции.

Мы знаем сейчас двенадцать различных свинцов², а именно:

203	209
204	210 – RaD
205	211 – AcD
206 – урановый свинец	212 – ThB
207 – актиниевый свинец	214 – RaB
208 – ториевый свинец	207,2 – обычный свинец

Из этих свинцов часть представляется нам устойчивыми, даже неразлагаемыми, другие, как тяжелые свинцы, с атомным весом 210,0–214,0 являются неустойчивыми формами, самая устойчивая из которых разлагается на половину в 16 лет (RaD), а самая неустойчивая также разлагается в 26,8 мин. (RaB).

Мы наблюдаем эти свинцы и отдельно в природе. Свинцовые минералы урановых месторождений Бельгийского Конго состоят из уранового свинца, образовавшегося в геологическое время из радия, и содержат его до 28% своего веса. Этот свинец легко можно иметь килограммами. Недавно К.А. Ненадкевич выделил этот свинец из минералов Карелии. На Цейлоне в ториянитах найдено несколько процентов торцевого свинца.

Все эти чистые изотопы, обладая почти *одинаковыми химическими свойствами*, отличаются по своим *физическим* свойствам: особенно ясно это отличие для изотопов, резко отличных по атомному весу. Вообще же оно не очень велико.

Искусственно разделить изотопы химически мы не можем, но мы можем их [разделить физическими методами]. Так, путем долгих физических операций – дистилляции, основанной на большой летучести легких изотопов, – удалось для Cl (атомный вес 35,46 – смесь 35, 37, 39) и Hg (атомный вес 200,6 – смесь 202, 200, 199, 198, 201 и 204) получить фракции, несколько более легкие, отогнать часть легких изотопов. [Исходя из этих первых попыток, теперь (1939) мы можем получить *чистые* изотопы]³.

¹ Надо, однако, иметь в виду, что этот вывод Ф. Астона не может считаться установленным для иода (атомный вес 126,92) и фосфора (атомный вес 31,02). Ф. Астон не мог доказать смеси изотопов.

² В 1935 г. это число должно быть значительно увеличено. Если принимать магнето-оптические измерения Аллисона и его помощников, количество свинцов превысит 20.

³ [Разделение производится для многих случаев пока в небольших количествах – для изотопов Ne, O, N и т.д.]

Чрезвычайно характерно, что мы на Земле для всех элементов, кроме свинца и тория, наблюдаем всегда одни и те же смеси изотопов. Это выражается в давно открытом явлении – в постоянстве [в первом приближении] атомных весов химических элементов, на котором, между прочим, строил свою Периодическую систему Д.И. Менделеев.

Это постоянство показывает нам, что изотопы не разделяются во время природных процессов, связанных с образованием минералов и горных пород. Это понятно, так как все минералы и горные породы образуются путем химических реакций. Однако даже при этом условии остается необъяснимым вытекающее из постоянства атомных весов неизменное количество разных изотопов смеси.

Точно так же необъяснимо для нас другое явление – неизменность атомных весов химических элементов метеоритов, приобретающее особое значение, так как, *по-видимому*, метеориты приходят в солнечную систему извне, к ней не принадлежат. Определения атомных весов Si, Mg, Cl, Ni, Fe, извлеченных из метеоритов, дали числа, тождественные с их земными атомными весами.

Мы можем только установить, но не объяснить, что ряд элементов, по крайней мере в земной коре, не имеет изотопов, состоит из атомов одного рода. Их называют иногда чистыми химическими элементами. Таковы – водород, кислород и другие¹. К этому вопросу мы еще вернемся.

Общим для всех изотопов, отвечающих одному и тому же химическому элементу, является число Мозли.

Мы можем сейчас утверждать, что, сколько бы ни было атомов разного строения между водородом и ураном, количество электронов – отрицательных зарядов, [находящихся вне] ядер атомов, – не может превышать 92 и должно отвечать для разных атомов всем целым числам от одного до 92.

III

Перейдем теперь к тем изменениям старых проблем химии жизни, или к тем новым задачам, которые в ней возникают благодаря этой глубокой эволюции наших воззрений на атом и на химический элемент.

Эволюция наших идей вызвала создание новых наук – физики атома, радиологии и ее части – радиохимии, геохимии². Если физика атома, радиология и радиохимия сейчас мало отразились на изучении явлений жизни, то геохимия, наоборот, теснейшим образом оказалась связанной с биологическими – нередко важными и крупными – проблемами.

Геохимия изучает историю химических элементов, т.е. атомов разного строения в условиях нашей планеты; она составляет небольшую неразделимую часть общей мировой космической химии – истории этих тел во Вселенной.

Изучение истории химических элементов живых организмов в земной коре – в ее оболочке, характеризующейся присутствием жизни, в так называемой биосфере – может идти только по отношению к совокупности организмов, а не по отношению к отдельным неделимым.

¹ Для водорода и кислорода ныне открыты изотопы.

² [Сейчас надо говорить и о радиогеологии.]

Эти совокупности представляют так называемые «живые вещества», когда они выражены в массе (весе), в химическом составе и в свойственной им энергии. Биогеохимия изучает только живые вещества.

Живое вещество, взятое в целом, т. е. совокупность всех организмов, резко отличается по своему химическому составу от окружающей его и тесно с ним связанной косной материи земной коры¹.

[Это отличие резко бросается в глаза в валовом химическом составе.

Возможны отличия по отношению к явлению изотопов Ве и Не.

В докладе 1927 г. я указал на отличие, которое оказалось кажущимся, именно – на преобладание в живом веществе химических элементов чистых, т.е., состоящих из одного изотопа. Такими тогда казались Н, О, N, С – наиболее важные органогенные элементы. Это представление не подтвердилось. Для всех них открыты изотопы на протяжении 1929–1935 гг., частью устойчивые, такие же, как и для остальных элементов (Н, О, N), частью легко получающиеся под влиянием процессов, проникающих в нашу земную среду, изотопов скоротечных, но которые должны постоянно создаваться и разрушаться в земной коре, особенно в биосфере (может быть исключительно в ней), – таковы изотопы N и С. Сейчас открыты их постоянные изотопы (1939). В 1927 г. казалось, что существует резкая материальная разница между живым и косным веществом: в первом от 80 до 99% вещества состояло из элементов, тогда считавшихся чистыми элементами, – по весу или из 90–99% по атомному составу, а для всей земной коры эти числа были соответственно 51,5% и 67,5%. Разница казалась огромной. Изменение взглядов произошло благодаря открытию в природе тяжелой воды и обычному огромному преобладанию воды в составе организма (до 99,7% и минимум – в семенах и т.п. – до 5–10%)².

В то же самое время в атмосфере открыто значительное количество атомов тяжелого кислорода – O^{18} в объемных процентах по отношению к обычному кислороду – O^{16} – близкое к 0,2%. В связи с этим текст речи 1927 г. в этом месте изменен.

Как указано было раньше³ научно будет правильным проверить сейчас гипотезу (1926 г.), что организм может различно относиться к изотопам, смесями которых являются земные химические элементы, что живое вещество материально отличается от косного, что оно всецело, в своей жизненно основной части по крайней мере, состоит из чистых изотопов и что оно способно разлагать смеси изотопов и избирать из них некоторые.

Открытие тяжелого водорода, тяжелой воды, которое изменило наши представления о неизбежном преобладании чистых изотопов в организме (1927 г.), в то же самое время придало вышеуказанной гипотезе еще более серьезный характер, *так как организм относится к тяжелой воде иначе, чем к воде обыкновенной*, т.е. организм различает два водорода, а следовательно можно ожидать с большей уверенностью и существование в нем общей способности разно относиться к разным изотопам одного и того же элемента.

¹ [В квадратных скобках дан текст 1935 г.]

² [Живые семена и споры и некоторые высушенные организмы (например, Tardigrada) в латентном состоянии содержат 5–12% воды].

³ [В.И. Вернадский. Биогеохимические очерки. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 84–87. – Ред.]

Ничто не указывает, чтобы это было каким-нибудь специфическим свойством атомов водорода. Большое их физико-химическое – и биологическое – различие может быть следствием более резкого отличия атомов водорода и дейтерия, массы которых близки к отношениям 1:2; один из атомов почти вдвое больше другого. Но в таком случае необходимо ожидать, что, хотя бы в меньшей степени, то же явление должно проявляться и в отношении живого вещества к изотопам всех химических элементов, причем никаких оснований нет думать, что различия в жизненных явлениях будут строго пропорциональны различию атомных весов изотопов.

Ничто не указывает, что в живом веществе сохранилось то же отношение изотопов водорода, которое наблюдается для поверхностных вод планеты, для которых пока имеются сведения¹.

Возможно еще, что в живых веществах мы встретимся с чистыми, лишенными или очень обедненными тяжелыми изотопами O, N, C.

Установленное колебание количества разных водородов в природных соединениях, создаваемых разными процессами, в частности для воды и нефтей, пока только в биосфере, заставляет серьезно поставить этот вопрос, и возможно, что именно в том, что организм в жизненной, основной своей части состоит из чистых изотопов, и лежит материальное различие между живой и косной материей.

Но возможно и то, что только в немногих, жизненно необходимых, частях мы имеем дело с биогенными соединениями из чистых изотопов, как я думал в 1926 г. В таком случае для водорода водородных соединений, выделенных из организмов, мы получили бы атомный вес различный.

Сейчас, при явно различном отношении организма к тяжелой и к обычной воде, решение этих вопросов представляет огромное значение.

Геологическое значение этого явления уже ясно и сейчас.

Если бы это подтвердилось и *для других элементов*, мы вошли бы в огромную новую область геологических и биологических явлений. Если бы это было так, целый ряд фактов и эмпирических обобщений получает простое и ясное объяснение.

Прежде всего становится понятным удивительное наблюдаемое в земной коре сохранение химического элемента в жизненном вихре. Химический элемент, войдя путем дыхания или питания в живой организм, или в нем удерживается, или же немедленно возвращается вновь в другой организм. И мы вынуждены допустить, что такое явление, такая, как говорят, миграция элементов, длится без перерыва в течение всего геологического времени, т.е. в течение лет порядка 10^9 . На каждом шагу мы наблюдаем вокруг нас эти явления. Углекислота, выделенная организмами при дыхании, немедленно вновь захватывается другими организмами; то же самое верно и по отношению к выделяемому растениями свободному кислороду, поддерживающему почти всю жизнь земной коры; то же по отношению к испаряемой и поглощаемой воде. Идет непрерывный круговорот, благодаря которому все эти газы в подавляющем числе их атомов фактически удерживаются живым веществом.

[Можно объяснить это тем, что энергетически организм должен – в тех динамических равновесиях, которые его образуют, – удерживать эти тела

¹ [Эта проблема поставлена в Биогеохимической лаборатории Академии наук.]

неизменными (смеси изотопов иного состава от обычных элементов или чистые изотопы), так как для создания их ему потребна затрата энергии.] Можно убедиться, что для очень многих элементов существуют условия, делающие чрезвычайно устойчивым их нахождение в живом веществе. Их выход из него как будто противоречит явлениям равновесия, каким подчинены все явления живого в биосфере¹.

Остановимся на двух-трех примерах. Магний, являющийся смесью трех изотопов (атомный вес 24, 32 – смесь 24, 25 и 26), входит в состав хлорофилла, около 2% сухого вещества которого он составляет. Количество такого магния в атмосфере огромно: оно отвечает массам приблизительно порядка 10^{16} – 10^{17} г, существующим в каждый данный момент в биосфере. Изучая историю этого магния, связанного с опаданием листьев, их поедания другими организмами, мы видим, что этот магний почти не выходит из жизненного цикла: ненадолго он собирается в «прахе», образуемом от гибели организмов на суше, в водной мути и отчасти грязи – для водных организмов, но оттуда немедленно входит дальше в новый жизненный цикл. Мыслима – и не противоречит фактам – постоянная миграция этого рода. Существует равновесие:

Магний хлорофилла ⇌ Живое вещество.

В общий геохимический цикл магния, проходящий через изверженные породы и через морские растворы, этот магний, по-видимому, не входит; в осадочные породы, связанные в своем происхождении с донной пленкой морского дна, этот магний, сосредоточенный в морях и океанах в планктоне и в прибрежных сгущениях, тоже не попадает.

Есть аналогичный цикл и для *кальция*. В покрывающей сушу растительности, которая составляет главную массу живого вещества суши, кальций собирается в значительных количествах в отпадающих частях – в коре и листьях. Листопад осени наших деревьев, наших лесов, является яркой чертой этого явления, так как именно к этому времени значительная часть кальция собирается в листьях растений, зола которых всегда больше чем на 30%, иногда много больше по весу, состоит из чистого кальция. Листопад и всякая потеря листьев – в меньшей степени есть важное явление в геохимической истории кальция.

Гниющая листва и хвоя, сухие травы и сухолесье кругом нас – все это обогащено кальцием, который, как мы знаем, почти немедленно входит в жизненный цикл. Этот кальций не попадает в общий цикл кальция в земной коре; он не попадает в воды рек, а оттуда в море, так как удерживается в верхнем слое почвы, переполненной жизнью, держится в жизненном цикле. Он же составляет часть того жизненного праха, ничтожные по весу остатки которого мы наблюдаем в почвах и гязях. Он не попадает в осадочные породы, так как не из растений берут его богатые кальцием их строящие организмы, и не попадает, следовательно, в метаморфические и изверженные породы. История кальция в живых веществах как будто указывает нам, что его цикл в живом веществе двойственный: часть кальция – кальций, отлага-

¹ В.И. Вернадский. Очерки геохимии, 1934 [Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 1. С. 5–392. См. также: В. И. Вернадский. Биосфера//Избр. соч. Т. 5. С. 5–102. – Ред.]

емый скелетными частями организмов главным образом водными, – имеет свою историю, входит в состав осадочных пород – известняков – является важной частью общего геохимического цикла этого элемента. Одинаковы ли кальций в этих обоих случаях? Это может решить только опытное исследование. Кальций (атомный вес 40,07) состоит из смеси двух изотопов (40 и 44) с резким преобладанием одного из них (98,25% изотопа 40 и 1,75% изотопа 44)¹.

Мы видим проявление той же особенности химии живого вещества в общем эффекте жизни на суше: отлагающийся прах вновь входит в цикл жизни и проходит через живое в бесконечно повторяющихся циклах.

Такое удерживание химических элементов непрерывно в жизненном цикле становится понятным, если захваченные жизнью атомы отличны от атомов косной материи и потребовали затраты энергии для своего выделения. Их выход из организованной системы, какую представляет собой в биосфере живое вещество, будет противоречить ее устойчивости (связанной с отвечающей ей наименьшей свободной энергией), которой живое вещество обладает в чрезвычайной степени.

Я не буду останавливаться на некоторых других выводах геохимии, которые становятся понятными при допущении материального – атомного различия между химическими элементами, строящими живую и косную материю. Так, при этом станет понятным, что живое вещество представляет особую форму нахождения элементов [1; 11], в геохимическом смысле резко отличную от рассеяний горных пород и минералов магм. Формы нахождения связаны с разным, особым в каждой из них, состоянием атомов. Точно также получит другое значение и неизменность количества живого вещества в биосфере в течение геологического времени.

IV

Очевидно, если бы такой процесс мог происходить в живых организмах, это должно было бы сказаться в тех явлениях, которые в них наблюдаются, в частности, должны были бы получить ясную научную базу некоторые из явлений, которые сейчас остаются для нас совсем непонятными.

Я остановлюсь на двух таких больших проявлениях живого.

Прежде всего на старом вопросе, возбуждающем уже целые столетия человеческую пылливость. Это вопрос об абиогенезе и о самопроизвольном зарождении. Для огромного большинства натуралистов старое положение, высказанное в XVII столетии Ф. Реди и получившее в начале XVIII века формулировку, ныне обычную, впервые данную ему проф. А. Валлисниери, – *omne vivum e vivo* (все живое происходит от живого), является неоспоримым эмпирическим обобщением. После спора Л. Пастера и К. Пушэ о самопроизвольном зарождении, кончившемся – в общем сознании – победой идей противников самозарождения организмов, прошло 60 лет, и весь опыт и все наблюдения биологов и геологов неуклонно подтверждали великое эмпирическое обобщение Ф. Реди. Ни в мире живых организмов сейчас, ни в следах их проявления в прежнее время мы нигде не видим абиогенеза.

¹ [Сейчас есть указания и на другие, еще более редкие изотопы.]

Если действительно есть материальное различие между веществом, строящим живые организмы, и веществами, строящими тела косной материи, очевидно все попытки создать живое из этой последней уже должны быть неудачными по одной этой причине, а также потому, что в них не принимается во внимание необходимость разделения изотопов для создания живого вещества.

[Относительное] постоянство смесей изотопов, выражаемое в [относительном] постоянстве атомного веса химических элементов, указывает, что процессы такого разделения в косной среде земной коры не имеют [такой интенсивности]. Возможность таких процессов пока мы видим в земной коре [в нужной степени] только в самом живом веществе. При этих условиях в земной коре не может быть абиогенеза. Есть еще одно крупное эмпирическое обобщение в биологии, которое не часто вспоминают, хотя оно очень реально и наблюдается на каждом шагу, которое получает значение в свете материального различия по существу живой и косной материи.

Это обобщение, высказанное больше 80 лет тому назад одним из величайших ученых, крупнейшим русским академиком К.М. фон-Бэр. Остзейский немец по происхождению, петербургский академик, Карл Максимович может быть назван русским не только по тому огромному влиянию, какое он оказал в развитии русской культуры. Он сам себя чувствовал с ней связанным, хотя его родной язык был немецкий. К.М. фон-Бэр не раз высказывал ясно и определенно свое отношение к России и к русской культуре, для роста которой он так много сделал.

К.М. фон-Бэр установил существование особого принципа в живой природе, который он выразил на образном языке того времени *принципом бережливости природы*; он указал, что организм с величайшей бережливостью расходует то вещество, которое им создано, он его не только не тратит даром, но по возможности и не выпускает из себя. Он обратил внимание на это явление, изучая историю азотистых и углеродистых соединений организма, но он ясно видел общность этого положения, его существование для других элементов.

Мы видим, что этот закон, или принцип бережливости, является по существу не чем иным, как тем непрерывным нахождением в цикле жизни химических элементов, раз в него вошедших, на которое сейчас указывает нам с еще большей яркостью геохимическая история этих элементов.

V

Так, мы видим с разных сторон указания на явления, которые как будто приводят нас, во-первых, к допущению существования коренного материального различия вещества, строящего организм, по сравнению с веществом, строящим косную материю, и, во-вторых, к заключению, что различие это можно искать в характере химических элементов, строящих организм. Эти элементы, может быть, являются однородными во всех случаях, даже тогда, когда в косной материи они являются смесями изотопов. Все указывают на то, что как будто живые вещества могут разделять изотопы.

Наши знания биологии организмов отнюдь не противоречат этой возможности.

Изотопы могут отделяться только физическими методами: почти всегда, а может быть всегда, эти методы должны быть связаны с тем различием, какое вызывает в физических свойствах тел обычно – а может быть всегда – разный в изотопах атомный вес.

Процесс разделения изотопов, если он есть в организмах, может быть только физическим¹.

Это заключение очень подходит к тому общему впечатлению о механизме жизненных процессов, который сейчас господствует в биологической мысли. Мы далеко ушли от прежних представлений – временами сильно выдвигавшихся – о жизни, как чисто химическом процессе, о жизни, как своеобразном сгорании, как «живых» белках и т.п.

Сейчас перешли к исканиям в области физико-химических и даже чисто физических процессов. Такие явления, как дисперсные коллоидальные системы, капиллярные и контактные, выступают на первое место. Это показывает, конечно, не то, чтобы эти явления дали нам разгадку жизни и привели к абиогенезу. Это только указывает, что именно эти процессы играют огромную роль в явлениях жизни.

Если разделение изотопов невозможно в области чисто химических процессов, оно вполне допустимо действием тех – совершенно недостижимых нам по интенсивности и чувствительности – физико-химических и физических [форм организованности], которые со все большей яркостью вскрываются нам в живых организмах.

VI

Мы сейчас не в состоянии решить этот вопрос, так как удивительным образом среди многих сотен химических определений атомного веса элементов нет ни одного, сделанного над элементами, выделенными из живых организмов.

Приходится эту работу делать вновь. Она была поставлена в Государственном радиовом институте в Ленинграде и ныне ведется в Биогеохимической лаборатории в Москве. Их задачей должно быть как раз изучение всех явлений, непосредственно связанных со свойствами атома.

Мы ставим эти исследования для целого ряда элементов – Fe, Mg, Zn, K, Ca, Pb, S.

Я хочу отметить, что результаты поставленного исследования об изотопах и жизни не могут быть напрасными ни при отрицательном, ни при положительном на него ответе.

При отрицательном – мы получим новый факт отсутствия разложения изотопов в биосфере и в той области явлений, в том их парагенезе, в котором оно не было исследовано. Надо тогда будет искать других проявлений атомного различия живого и косного вещества, указания на которое имеются, например, в проявлениях симметрии полей атомов.

¹ [Как раз изучение тяжелого водорода позволяет уточнить это положение. Грань между физическими и химическими процессами все более стирается: создание физической химии, а теперь химической физики ясно это показывает. Это положение должно быть учитываемо в аспекте этих явлений.]

При положительном ответе – сразу возникают многочисленные новые вопросы и в том числе вопросы медицинского характера. Всякий ли кальций действует в его многочисленных сейчас терапевтических применениях, в том числе таких, которые объясняются действием иона кальция, или действует только один изотоп, тот, который входит в живое вещество (вероятно более тяжелый, с атомным весом 44)? Можно ли относить вредное действие свинцового отравления ко всем свинцовым изотопам? Как действуют изотопически различные свинцовые препараты? На каждом шагу выдвигаются такие вопросы, так как все значительнее и значительнее выявляется нам в явлениях жизни значение «ничтожных» примесей отдельных атомов.

Мне кажется, эта возможная новая область медицинских приложений заставляет, особенно врачей, желать скорейшего выяснения этого вопроса.

Я хочу здесь, в районе Кавказских Минеральных Вод, остановиться, хотя бы – ввиду затянувшегося сообщения – самым кратким образом, еще на одном вопросе.

Если действительно в организмах идет выделение изотопов, оно должно проявляться и во внешней среде. Живое вещество или должно выбрасывать ненужный ему изотоп во внешнюю среду, или отлагать его в других частях своей среды. В то же время атомный вес химических элементов – в отбросах и остатках организма – может быть отличным от обычного для нашей планеты.

Среди этих отбросов и остатков мы имеем два – пыль и «прах» – твердые остатки, быстро захватываемые жизнью, и водные растворы органических веществ.

Эти последние заслуживают для нас особого внимания, так как они должны находиться в совершенно, к сожалению, не изученных органических соединениях минеральных вод, даже идущих из глубин и не связанных с наземной жизнью. Мы знаем, что в более глубоких частях земной коры остатки организмов принимают форму жидких тел; мы видим их в нефтях, которые в своих составных частях сохраняют еще явные следы соединений, которые были образованы древними живыми организмами, давшими им начало.

Эти остатки организмов – «прах», минералоорганические вещества почв и грязей, нефти и угли и органические вещества вод, вадозных и ювенильно-фреатических – должны быть точно так же изучены в отношении характера изотопического состава составляющих их элементов, как должно быть в том отношении изучено и живое вещество.

В частности, нас здесь должны особенно занимать органические вещества минеральных вод. Какое они оказывают влияние на благотворительную роль этих вод в лечении человеческих страданий? Мы этого не знаем.

Великий оригинальный мыслитель, гейльбронский врач Роберт Майер, первый или один из первых формулировавший закон сохранения энергии, в одной из последних своих работ обратил внимание 50 лет назад на значение органических веществ минеральных вод и полагал, что в них кроется объяснение целебных их свойств.

С тех пор вопрос об органических веществах минеральных вод остался в том же положении, в каком он был при Р. Майере.

Пора его двинуть. Может быть Р. Майер в своей интуиции провидел часть истины.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ ЖИЗНИ В БИОСФЕРЕ*

I

Можно без преувеличения утверждать, что химическое состояние наружной коры нашей планеты, биосферы всецело находится под влиянием жизни, определяется живыми организмами.

Несомненно, что энергия, придающая биосфере ее обычный облик, имеет космическое происхождение. Она исходит из Солнца в форме лучистой энергии.

Но именно живые организмы, совокупность жизни превращают эту космическую лучистую энергию в земную, химическую и создают бесконечное разнообразие нашего мира.

Эти живые организмы, которые своим дыханием, своим питанием, своим метаболизмом, своею смертью и своим расположением, постоянным использованием своего вещества, а, главное, – длящейся сотни миллионов лет непрерывной сменой поколений, своим рождением и размножением порождают одно из грандиознейших планетных явлений, не существующих нигде, а только в биосфере. Этот великий планетный процесс есть *миграция химических элементов в биосфере*, движение земных атомов, непрерывно длящееся многие сотни миллионов лет¹, согласно определенным законам.

Больше 120 лет тому назад гениальный естествоиспытатель Ж. Кювье с присущим ему глубоким проникновением признал это движение молекул основой жизни и в формах картезианского мировоззрения и в противовес природным явлениям, вытекающим из ньютоновских законов, определил их как *движения вихревые*.

Кювье рассматривал это движение только с точки зрения организма и поэтому принял во внимание лишь часть целого явления.

Кювье следующим образом выразил свою мысль: «Жизнь есть более или менее быстрый, более или менее сложный вихрь, направление которого, однако, неизменно: вихрь этот привлекает всегда молекулы одного определенного рода, которые то вступают в его круговорот, то покидают его; форма, таким образом, является более существенной для живого организма, чем его материя.

Пока движение это длится, тело, в котором оно имеет место, называется живым: оно живет. Когда это движение безвозвратно останавливается, тело умирает. Вскоре после смерти элементы, его образовавшие, разъединяются, вступая в химические соединения; вслед за этим, раньше или позже, происходит разложение прежде живого тела. Таким образом, этот жизненный вихрь препятствовал этому разложению и соединял на время воедино элементы тела» [31, стр. 182–183; 1, стр. 39, 300].

* Доклад, прочитанный во время «Недели русских естествоиспытателей» в Берлине 23 июня 1927 г. Впервые опубликован в: Zentralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie. 1928. Abt. V. N. 11. S. 583–594. В. N 11. 5. 583 – 594. В дальнейшем опубликован в: Живое вещество. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1930. С. 252–269; Биогеохим. очерки. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 126–134; Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. С. 228–237.

¹ [Больше двух миллиардов.]

Этот вихрь вызван к жизни самим организмом. Нужная для него сила таится в самом организме. Процесс этот – самое важное проявление автономии организма в окружающей его среде.

Химическое влияние каждого отдельного организма проникает далеко в окружающую среду благодаря этому вихрю. Силой его в среде поддерживается постоянное и непрерывное движение молекул, лежащих вне организма и чуждых ему.

Поэтому та картина вихря, которую дает Г. Кювье, неполная. «Вихревое» движение распространяется дальше в окружающую среду, за пределы организма.

Но в окружающем мире теряется проявление отдельного организма. Приходится принимать во внимание все существующие мириады живых организмов – всю совокупность жизни, чтобы понять великое природное явление, которое они порождают.

Всюду в среде жизни существует это вызванное жизнью великое химическое превращение, движение вещества, молекулярное изменение.

Можно проследить во всей биосфере таким образом порожденное жизнью движение молекул; оно охватывает собой всю тропосферу, всю область океанов, живую природу суши¹. Можно уловить его проявление в свободной атмосфере – в стратосфере и дальше до самой крайней границы планеты. Мы можем доказать его влияние далеко за пределами области жизни в глубоких слоях земли, в совершенно для нас чуждых областях метаморфизма.

Как бы эти химические, физико-химические и биохимические (в общем геохимические) процессы ни были запутаны, бесконечно разнообразны и сложны, их можно все без исключения свести к движению атомов.

Возможно, удобства ради, и совершенно допустимо для большинства геохимических исследований оставить в стороне все представления о форме и характере этих движений. Они, конечно, не имеют никакого отношения к вихрям Кювье.

Мы подведем все эти геохимические движения атомов под одно гораздо более общее описательное понятие – *миграцию*, т.е. перемещение *земных атомов*. Миграция порождается определенными силами земной природы – внутренними или внешними. Миграция элементов, о которой здесь идет речь, имеет два очень важных отличительных признака.

Во-первых, она идет в совершенно определенной части нашей планеты – в биосфере и в прилегающих к ней частях земной коры, и во-вторых, она порождена всецело одной-единственной силой, силой жизни.

Поэтому я эту миграцию буду называть *биогенной миграцией земных атомов* и силу, ее порождающую, энергией живых организмов, подлежащей количественному учету. Эту энергию живых организмов я буду называть их *геохимической энергией*.

Биогенная миграция элементов и соответствующая им геохимическая энергия количественно различны и характерны для каждого организма, для каждого вида животных и растений.

¹ О границах биосферы см. [3].

Каждая присущая отдельному виду организмов геохимическая энергия тем больше, чем интенсивнее порождаемая силой жизни биогенная миграция химических элементов.

Количественное определение геохимической энергии и биогенной миграции элементов в связи с морфологическим различием жизни представляет одну из важнейших задач современности.

Но их изучение находится еще в зачаточном состоянии.

II

Я считаю полезным раньше более подробного рассмотрения этих проблем бросить взгляд на биогенную миграцию в общем и на некоторые числовые величины, к ней относящиеся.

Совокупность живых организмов образует лишь малую долю всей массы вещества биосферы; вес этого вещества представляет много триллионов метрических тонн (10^{12}), вес биосферы – несколько квинтиллионов тонн (10^{18}). Жизнь соответствует по крайней мере многим сотым или десятым процента всей массы биосферы.

Но энергетическое значение этих живых масс несравненно значительнее. Они образуют места сильнейшей миграции атомов в биосфере. В течение короткого времени, приблизительно одного года, через эти места проносится множество атомов, вес которых во много раз, во много сотен, может быть, тысяч раз превышает вес живых организмов. Все вещество биосферы может, без сомнения, в течение краткого момента геологического времени много раз пройти через живые организмы.

Мы можем в любую минуту наблюдать наличие подобного строения биосферы кругом нас, не углубляясь в геологическое прошлое. Одно из наиболее важных тел биосферы, геохимическое влияние которого наиболее значительно, – свободный кислород – создается на нашей планете исключительно одной жизнью. Он существует только в биосфере. Процесс образования его непрерывен, так же как непрерывно его потребление в тысячах различнейших химических процессов. Но несмотря на это, общее количество свободного кислорода на Земле приблизительно постоянно и, вероятно, пребывало таковым в течение всего геологического времени. Вес общего количества свободного кислорода около 1,5 квадриллионов тонн ($1,5 \cdot 10^{15}$). Кислород к тому же, в силу своей химической активности, приводит в состояние миграции новые массы атомов, во много раз превышающие его собственный вес. Так как он сам есть создание исключительно одной жизни, то следует и это его действие рассматривать только как геохимическое проявление жизни.

Все известняки биогенного происхождения. Их вес в земной коре превышает вес свободного кислорода. Большая часть известняков находится вне биосферы; в этих областях их химические элементы постепенно выходят из круга биогенной миграции. Однако в биосфере непрерывно происходит очень важный процесс миграции углекислой извести. Течением рек ежегодно выбрасывается около биллиона тонн ее в океаны, и одновременно она почти целиком выделяется из морской воды в виде биогенных известняков.

Это выделение связано с огромной миграцией химических элементов. В сто тысяч раз большие массы должны быть приведены в движение, чтобы образовать известковые части скелетов организмов.

В течение долгих геологических периодов остатки организмов животного и растительного происхождения собираются в виде углей, асфальтов и нефтей. Нам известны многие триллионы или многие квадриллионы этих тел в верхних слоях земной коры. Они все подвергаются постепенному, но неуклонному изменению, вызывающему медленную, но огромную миграцию химических элементов. Миллионы лет длилось накапливание этих масс горючих ископаемых; для их образования потребовалось невероятное напряжение химической энергии жизни. Однако, из всего жизненного вихря выделяется таким способом ежегодно лишь сотысячная доля процента, если не меньше, углеродных атомов живых организмов.

Образование горючих масс нашей земной коры требует миграций углеродных атомов, которые по весу во много раз превосходят самые массы горючих тел. Существует определенная связь между массами горючих природных тел и природным свободным кислородом. Оба они являются частями одного и того же количественно определенного процесса разложения угольной кислоты. Присутствие одного обуславливает присутствие другого.

В истории других элементов, таких, как железо, марганец, кремний, иод, бром, сера, фосфор, азот, водород, медь, цинк, бор, стронций и т.д., мы можем найти примеры биогенной миграции, которые по грандиозности ничем не уступают вышеупомянутым.

Жизнь, поистине, является одной из наиболее могучих геохимических сил нашей планеты, а вызываемая ею биогенная миграция атомов представляет форму организованности первостепенного значения в строении биосферы.

III

Но эта форма организованности мало известна. Причина этого, как мне кажется, кроется в том, что сюда не могут быть без изменений применены представления о жизни, возникшие на почве биологии. Геохимик представляет себе жизнь под другим углом зрения, чем биолог. Ему нужны факты, которые в биологической литературе отсутствуют. Он должен создавать новые биологические понятия, должен собирать новые количественные данные, касающиеся организмов. Его интересуют *совокупность организмов*, животные и растительные виды. Отдельный организм не представляет для него значения.

Самые животные и растительные виды должны быть в геохимии рассматриваемы с другой точки зрения, чем в биологии; их морфологические признаки для нее имеют лишь второстепенное значение. Элементы совокупностей – отдельные организмы – заменяются в геохимии идеальными «средними» организмами. Их характеризуют определенные *числа*: средний вес живых организмов, средний их химический состав, средняя их геохимическая энергия¹. Такие совокупности я буду называть *живым веществом*; когда элементы его соответствуют организмам одного и того же вида или расы (например, ржаное поле), я буду называть его *однородным живым веществом*. Когда же элементы эти соответствуют разным видам или расам, я буду называть его *разнородным живым веществом*. Биоценозы – такие, как луг, планктон – представляют нам примеры разнородного живого вещества. Очевидно, что разнородное живое вещество может быть рассматриваемо как смесь различных однородных живых веществ.

¹ Также средняя константа характера пространства (правизны – левизны).

Выраженные в числах, совокупности организмов дают совершенно иную картину жизни на нашей планете, чем та, которую о ней дают биолог, философ, художник или любитель природы.

Числовые выражения для масс и для химического состава живых веществ не представляют теоретических трудностей. Но числовое выражение для геохимической энергии жизни еще должно быть найдено.

IV

Биогенная миграция земных атомов вызывается тремя различными процессами жизни. Во-первых, метаболизмом живого организма – его дыханием, его питанием, его различными отбросами; во-вторых, ростом организмов и, в-третьих, размножением, увеличением числа организмов.

Все три процесса неразрывно связаны между собою, но каждый из них вносит в биосферу определенный и количественно различный для каждого вида организмов запас геохимической энергии.

Геохимическая энергия размножения самая важная из них и не только потому, что она самая значительная, а потому, что она вызывает в биосфере два совершенно различных природных явления и имеет наибольшее влияние на [организованность] планеты.

Энергия эта не только порождает биогенную миграцию атомов, подобно тому как это делают геохимическая энергия метаболизма или энергия роста. Она вызывает еще новое движение – перенос самого состояния биогенной миграции земных атомов на земную поверхность, соответствующее растекание геохимической энергии в окружающей среде.

Это растекание биогенной миграции по земной поверхности не отделимо от самой миграции; оба явления тесно связаны между собой и всегда неразлучны, так как в природе нет организмов, которые бы не размножались и были бы лишены метаболизма.

Хотя точные количественные отношения, существующие между этими двумя различными геохимическими проявлениями энергии размножения до сих пор нам не известны, – для нашего дальнейшего изложения достаточно знать, что такие отношения существуют и что они могут быть со временем установлены. Поэтому возможно для определения количественного выражения геохимической энергии удовлетвориться количественным исследованием одного из указанных проявлений (частью целого процесса).

При современном состоянии наших биологических и геохимических знаний наиболее просто установить количественное выражение геохимической энергии жизни, основываясь на определении растекания этой энергии по земной поверхности, на переносе по этой поверхности определенного состояния геохимической энергии [*заселения организмом*].

За количественную единицу геохимической энергии жизни я приму быстроту передвижения на поверхности Земли по прямой линии геохимической энергии, вызванной размножением. Я назову ее для краткости *растеканием жизни в биосфере* и буду выражать ее всегда величиной *V*. Это число будет определять скорость растекания геохимической энергии заселения, выраженную в сантиметрах в секунду. Величина эта является различной и характерной для каждого вида организмов в данных условиях его существования.

Для определения величины какой-либо энергии необходимо составить себе ясное количественное представление о работе или движении, которое эта энергия при определенных условиях может произвести.

Геохимическая энергия размножения всех без исключения организмов обладает двумя важными свойствами. Во-первых, величина энергии размножения каждого вида организмов имеет строго определенный предел, который никогда не может быть ею превзойден, и, во-вторых, быстрота растекания геохимической энергии по прямой линии имеет для всех организмов один и тот же, лежащий вне мира организмов, параметр, т.е. она может быть сведена к одному масштабу, независимому от жизни.

Из этого следует, что мы можем количественно сравнивать для всех организмов так выраженные максимальные предельные количества геохимической энергии.

Само размножение организмов может быть установлено на основании следующих простых, эмпирически бесспорных, давно известных положений:

- 1) увеличение числа организмов благодаря размножению всегда совершается в геометрической прогрессии;
- 2) размножение обладает силой инерции, т.е. ход размножения может быть изменен только благодаря независимым от организма силам;
- 3) существует определенное соотношение между величиной организма (его массой?) и его размножением: более мелкие организмы размножаются гораздо быстрее, чем организмы более крупные.

Для энергетического выражения этих эмпирических обобщений необходимо рассматривать их в определенных границах.

Существование максимальной величины энергии размножения, характерной для каждого вида организмов, неизбежно указывает на существование для каждого вида предела темпа его размножения, предела возможного числа составляющих его организмов.

Геометрическая прогрессия, которая отвечает закону размножения, не может быть беспредельной. На Земле должно существовать определенное возможно максимальное число организмов каждого вида – в момент полного его проявления, – соответствующее максимальной возможной для него величине геометрической прогрессии¹.

Предел устанавливается размерами биосферы. Биосфера не может содержать больше определенного числа особей каждого вида организмов. Биогенная миграция земных атомов, которая отвечает каждому виду организмов, должна поэтому иметь определенную конечную величину.

Мы можем теперь применить эти простые понятия к математическому выражению геохимической энергии жизни. Мы всегда будем принимать во внимание лишь максимальную ее величину.

¹ Тут возможно применение понятия о потенциальном и активном состоянии геохимической энергии. Потенциальную геохимическую энергию можно считать безграничной (так же как прогрессию размножения организмов). В таком случае максимальное число организмов соответствовало бы наличию активной, реальной, геохимической энергии. Эта активная геохимическая энергия должна была бы иметь границы. Но это представление включает в себе скрытую гипотезу, в силу которой организм по своему глубокому внутреннему строению уже независим от величины нашей планеты. Но возможно, что это и не так.

Максимальное проявление геохимической энергии для каждого вида организмов на земной поверхности определяется числом организмов, образуемых путем размножения. Геохимическая энергия размножения будет тем больше, чем число организмов значительнее.

Максимальное число существующих или могущих образоваться организмов соответствует максимальной энергии размножения. Эти максимальные числа для организмов каждого рода, которые при известных условиях могут существовать на поверхности Земли, мы будем называть *стационарным числом организмов*. Размножение не может продолжаться дальше, и его геохимическая энергия не может дать большего эффекта.

Реальное максимальное число организмов определяется: 1) размерами поверхности Земли и 2) необходимой для существования организмов площадью. Эта площадь соответствует возможно большей густоте населения и может быть представлена различным образом.

Здесь я приведу только два таких представления – K_1 и K_3 . Первая *площадь* – K_1 (в квадратных сантиметрах) соответствует наибольшей *мыслимой* густоте населения. Она легко может быть выведена путем наблюдения, как это явствует из нижеследующего уравнения:

$$K_1 = r^2 \text{ (в см}^2\text{)},$$

в котором r соответствует наибольшему среднему размеру индивида в сантиметрах (его наибольшей длины на земной поверхности).

Такая густота населения в общем неустойчива. В большинстве случаев она не может долго существовать.

Площадь K_3 соответствует наименьшему пространству Земли, необходимому для *длительного существования и размножения среднего организма любого вида при наиболее благоприятных условиях жизни*.

В некоторых случаях обе площади – K_1 и K_3 [почти] – совпадают (например, для бактерий, злаков и т.п.); в большинстве же случаев они очень разнятся между собой (например, для *Elephas indicus*)

$$K_1 = 5 \cdot 10^5 \text{ см}^2;$$

$$K_3 = 3 \cdot 10^5 \text{ см}^2.$$

Очевидно, что с геохимической точки зрения K_3 имеет наибольшее значение, так как оно соответствует действительно существующей энергии жизни.

В обоих случаях можно определить постоянные *стационарные числа*, соответствующие данному виду организмов:

$${}_1M_{\text{mx}} = \frac{S}{K_1};$$

$${}_3M_{\text{mx}} = \frac{S}{K_3},$$

где S – поверхность Земли, т.е. $5,10065 \cdot 10^8 \text{ см}^2$.

VII

Возможно рассматривать образование ${}_1M_{\text{mx}}$ или ${}_3M_{\text{mx}}$ как максимальную работу, свойственную каждому виду организмов; в этом случае эта работа будет заключаться в максимальном, наиболее полном растекании его геохимической энергии по земной поверхности.

Во время такого создания неделимых геохимической энергии вида, вызывая миграцию земных атомов, растекается во всей поверхности Земли.

Длительность завершения такого теоретически максимального заселения планеты различна для каждого вида и свойственна только ему одному. Эту длительность можно легко выразить в днях (ϵ) или в секундах (86400ϵ). Само собой разумеется, что ϵ будет иной для ${}_1M_{\text{mx}}$ именно ϵ_1 , и для ${}_3M_{\text{mx}}$, именно ϵ_3 .

Для многих биологических и геохимических проблем удобно выразить это движение геохимической энергией иначе, т.е. и виде *линейной скорости* его V по одному и тому же направлению.

При наибольшем заселении земной поверхности каждый вид организмов должен путем размножения в определенные для этого ϵ дней пройти одно и то же максимальное расстояние, отвечающее, очевидно, наибольшему существующему на земной поверхности расстоянию – земному экватору.

Длина этого расстояния D равняется $4,0075721 \cdot 10^9$ см. Так как это расстояние может быть пройдено в ϵ дней, то $\frac{D}{\epsilon} = V^1$ см/сутки равняется линейной скорости полного растекания геохимической энергии на земной поверхности во время конечного полного размножения данного вида организма [заселения им планеты].

Эта различная для всякого вида организмов максимальная скорость играет большую роль в геохимических проблемах и должна быть рассматриваема как геохимически важная постоянная величина. Она равняется:

$$V_1 = \frac{4,63050 \cdot 10^4}{\epsilon_1} \text{ см/сек,}$$

$$V_3 = \frac{4,63050 \cdot 10^4}{\epsilon_3} \text{ см/сек.}$$

VIII

Длительность процесса ϵ_1 и ϵ_3 можно в каждом отдельном случае эмпирически высчитать, если из наблюдений известна густота населения (K_1 или K_3 см²) и имеются количественные данные об условиях размножения.

Но возможно пользоваться одной общей для всех организмов формулой, если выразить закон размножения в виде следующей геометрической прогрессии:

$$2^{n\Delta} = N_n,$$

Здесь N_n обозначает число организмов, могущих образоваться в n дней из одного организма путем размножения.

Для стационарного числа организмов N_{mx} мы получаем таким путем следующие выражения:

$$2^{1\Delta} = {}_1N_{\text{mx}};$$

$$2^{3\Delta} = {}_3N_{\text{mx}},$$

и для скоростей:

$$V_1 = \frac{13962,9545 \cdot \Delta}{18,70762 - \lg K_1} \text{ см/сек},$$

$$V_3 = \frac{13962,9545 \cdot \Delta}{18,70762 - \lg K_3} \text{ см/сек}.$$

IX

Я не могу в этом докладе дальше углубляться в эти проблемы, затронуть неизбежно возникающие вопросы, недоумения и выводы.

Задача его иная. Я хочу в нем лишь указать на важность этих явлений, на возможность и необходимость геохимического представления о жизни, на то геохимическое явление жизни, какое проявляется в биогенной миграции атомов, а также выяснить связь ее с видами организмов, выразив эту связь в числах.

К этому я хочу прибавить несколько замечаний.

Во-первых, необходимо подчеркнуть чрезвычайное разнообразие явлений растекания геохимической энергии в биосфере для разных видов организмов.

Наибольшая быстрота этого растекания энергии соответствует скорости распространения звука в воздухе, она достигает для мельчайших видов бактерий приблизительно 33 000–34 000 см/сек. Ее растекание может совершаться в 350 000 раз медленнее, например для *Elephas indicus* скорость V_3 равняется 0,69 см/сек.

В биосфере движения, скорость которых превышает скорость распространения в ней звука, физически невозможны без разрушения окружающей среды. Но факт, что жизнь все же достигает этой предельной скорости, доказывает наличие любопытных особенностей в строении биосферы: жизнь действительно проявляется в ней с максимальной предельной для нее интенсивностью.

В геохимических процессах мы на каждом шагу сталкиваемся с таким характером явлений жизни.

Во-вторых, скорость распространения геохимической энергии на земной поверхности не дает полной картины геохимического воздействия жизни; необходимо еще принимать во внимание геохимические энергии роста и метаболизма.

При максимальном развитии геохимической энергии жизни нужно принимать во внимание взрослые организмы; работа, произведенная в силу полного растекания энергии размножения в биосфере, соответствует передвижению организмов, масса которых определяется средним весом организма. Для вычисления общей геохимической энергии жизни мы должны положить в основу этот средний вес взрослого организма, и, таким образом, энергия роста в этой части учитывается.

Труднее выразить количественно энергию метаболизма в геохимических проблемах. Эта энергия соответствует движению масс земных атомов, которые в течение средней жизни среднего организма входят и выходят из него. Эта величина нам вообще неизвестна. Очень важно было бы определить эту энергию для каждого отдельного вида организмов хотя бы в течение ϵ дней, т.е. в продолжении полного распространения геохимической энергии в биосфере.

Этого мы еще сейчас не в состоянии сделать.

Х

Мы здесь сталкиваемся, как и во всех геохимических проблемах, с удивительной бедностью количественных, выраженных в числах, биологических фактов.

Нам необходимы для дальнейшего развития геохимии, во-первых, полные химические элементарные количественные анализы живых организмов, отнесенные к среднему живому неделимому. Можно сказать, что таких анализов еще теперь нет. У нас имеется много тысяч химических анализов разных видов минералов, общее число которых около 1500, анализов же организмов, описанных видов которых насчитывается свыше 800 000, имеется в лучшем случае всего немного десятков.

Во-вторых, нам нужны определения среднего веса живых животных и растений. Таковых также имеем очень мало. Следует вспомнить, например, что у нас нет определений среднего веса зеленых растений, которые по количеству своему, вероятно, составляют половину, если не больше, всего земного живого вещества.

Наконец, в-третьих, нам нужны количественные данные размножения организмов, чтобы на основании их вычислить их геохимическую энергию. В громадном большинстве случаев такие данные должны еще быть собраны.

Мы не можем двинуть вперед наши геохимические искания до тех пор, пока не будет организовано количественное изучение жизни во всех трех вышеуказанных направлениях. Но такая организация не может быть создана одним исследователем или одной страной. Она требует совместной работы широких научных кругов и должна быть введена в нормальный план научного описания биологических явлений.

Я надеюсь, что это лишь вопрос времени.

ЭВОЛЮЦИЯ ВИДОВ И ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО*

I

Жизнь составляет неразрывную часть организованности биосферы. Это ярко выявляется при изучении геохимической истории химических элементов, для большинства которых процессы, идущие при участии жизни, —

* Доклад, прочитанный на заседании Ленинградского общества естествоиспытателей 5 февраля 1928 г. Впервые опубликовано в: Природа, 1928, № 3. С. 227–250. Опубликовано в дальнейшем в: Живое вещество. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1930. С. 270–291; Биогеохим. очерки. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 135–146; Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. С. 238–251.

биогеохимические процессы – имеют основное значение. Эти биогеохимические проявления жизни рисуют на первый взгляд резко иную картину жизненных процессов, чем та, которая дается биологией. Кажется даже, что эти два представления о жизни – биологическое и геохимическое – несовместимы.

Лишь более глубокий анализ позволяет разобраться в наблюдаемом различии. Он указывает, что частью мы имеем дело здесь с различным выражением тождественных явлений, частью же действительно встречаемся с различными проявлениями жизни, равно охваченными геохимией и биологией.

Сопоставление двух точек зрения – биологической и геохимической – в конце концов углубляет и изменяет научный охват явлений жизни.

Различие двух представлений о жизни сказывается наиболее, мне кажется, резко в том, что проникающее все наше современное биологическое мировоззрение учение об эволюции почти совершенно не затронуто в геохимии, оставляется в стороне при изучении биогеохимических явлений. Они нам на первый взгляд представляются так, как будто бы эволюция видов животных и растений отражается в них слабо или совсем не отражается.

Мой доклад сегодня имеет целью анализ этих представлений и является попыткой выяснить значение явлений эволюции видов в механизме биосферы.

Обращаясь к этому механизму, можно убедиться, что в нем основные представления биологии приобретают коренные изменения.

Так, в биологии обычно вид рассматривается *геометрически*; на первое место выступает *форма*, морфологические признаки. В биогеохимических явлениях на первое место выступает число. Вид рассматривается *арифметически*. Подобно физическим и химическим явлениям – химическим соединениям и физико-химическим системам – отдельные виды животных и растений должны в геохимии характеризоваться и различаться *числовыми константами*. Числовые константы заменяют морфологические признаки, указываемые биологами при диагнозе вида.

В биогеохимических процессах необходимо принимать во внимание следующие числовые константы: *средний вес* организма, его *средний элементарный химический состав* и отвечающую ему среднюю геохимическую энергию, т.е. свойственную ему способность производить перемещение – *миграцию* – химических элементов в среде его жизни¹.

Вместо формы, свойственной виду, выступают в биогеохимических процессах его материя и его энергия. Так, выраженный вид может быть рассматриваем как некоторое *вещество*, такое же, как другие вещества земной коры – воды, твердые минералы и горные породы, которые одновременно с организмами строят геохимические процессы. Выраженный таким путем вид биолога может рассматриваться как *однородное живое вещество*, характеризованное массой, элементарным химическим составом [особым пространством–временем] и геохимической энергией.

Обычные выражения этих видовых признаков в граммах веса и процентах химического состава, в скоростях передачи геохимической энергии дают очень отвлеченное, закрывающее реальность представление. Его можно

¹ Также и характер занятого организмом объема (правизна – левизна).

заменить другим, более ясно отвечающим природному процессу, создающему организм.

В геохимии мы имеем дело с атомами. В биосфере мы отличаем физико-химические организмы как особые автономные объемы – поля, в которых, собираются определенные атомы в определенных количествах. Это количество и есть характерное свойство каждого организма, каждого вида. Оно указывает, сколько атомов организм данного вида может свойственной ему силой удержать вне общего поля биосферы, извлечь из окружающей среды. Зная объем организма и количество находящихся в этом объеме атомов и выражая все явления числами, мы получаем, по-видимому, наиболее отвлеченное и в то же время реальное выражение вида, поскольку оно отражается в геологических процессах планеты. Мы получаем его, измеряя размеры организма, его вес, его химический состав. Так, полученные число атомов и объем организма суть, несомненно, видовые признаки. Захват жизнью в некотором поле – в некотором объеме – и удержание в нем известного количества атомов есть реальное явление в природе, столь же характерное для организма, как его форма или физиологические функции. По существу, такое представление, вероятно, даже наиболее глубоко выражает основные черты его существования.

Получаемые числа очень велики, например для отдельной ряски, *Lemna minor*, они близки к $3,7 \cdot 10^{20}$, отвечая сотням квинтиллионов атомов. Эти большие числа реальны и сравнимы для разных видов.

Такое *выражение вида в числе атомов объема организма* только дополняет обычную биологическую характеристику вида формой и строением того же самого объема.

Живое однородное вещество геохимика и вид биолога тождественны, но выражены различно.

II

Изучение явлений жизни в [организованности] биосферы вносит еще более существенные различия в обычные биологические представления.

Биосфера в основных частях неизменна в течение всего геологического времени, неизменна по крайней мере с археозоя, полтора миллиарда лет. Такое же состояние выражается во множестве отвечающих ей явлений, в том числе и в биогеохимических.

Так, геохимические циклы химических элементов представляются постоянными в геологическом времени. В общем, в кембрии они должны были иметь тот же самый характер, как в четвертичное время или какой имеют теперь. Условия климата, вулканические процессы, биохимические, химические и физические явления выветривания оставались в течение всего геологического времени теми же, какие мы наблюдаем в наше время. За все время земного существования, вплоть до появления цивилизованного человечества, не был создан ни один новый минерал. Виды минералов на нашей планете остаются неизменными во времени или изменяются с его ходом одинаковым образом: во все геологические периоды образовывались те же самые химические соединения, как и теперь. Нет ни одного случая, который бы давал указания на связь того или иного минерального вида с определенной геоло-

гической эпохой. Это резко отличает виды минералов от однородного живого вещества, от вида живых организмов. Виды живых организмов резко меняются в течение геологического времени: все время создаются новые; виды минералов всегда одни и те же.

В геохимическом аспекте, входя как часть в мало изменяющуюся, колеблющуюся около неизменного среднего состояния биосферу, жизнь, взятая как целое, представляется устойчивой и неизменной в геологическом времени. Входя как неразрывная часть в постоянно повторяющиеся одни и те же геохимические циклы, жизнь не может оказываться резко меняющейся в своих учитываемых в геохимии проявлениях. Масса живого вещества, т. е. количество атомов, захваченных во все бесчисленные автономные поля организмов, и средний химический состав живого вещества, т. е. химический состав атомов полей жизни, должны оставаться в общем неизменными в течение всего геологического времени.

К тому же, в эти долгие века и те формы энергии, с которыми связана жизнь, по-видимому, радиация Солнца и атомная энергия радиоактивных веществ, в общем были те же по величине, какие мы наблюдаем и сейчас. Наблюдаются во всех указанных явлениях лишь колебания в ту или другую сторону вокруг средней величины, кажущейся нам постоянной.

III

Эта картина неизменности, свойственная в течение геологического времени всем космическим процессам, стоит в резком противоречии с несомненно шедшим в это время резким изменением форм жизни, изучаемым в биологии. В частности, несомненно, что все видовые признаки, учитываемые в геохимических явлениях, несколько раз коренным образом изменялись в течение геологического времени, ибо за это время неоднократно исчезали многочисленные растительные и животные виды и создавались новые, несомненно с иным весом, с иным химическим составом и с иной геохимической энергией, чем их предшественники. Едва ли можно сомневаться, что химический состав морфологически различных тел всегда различен. Виды вымершие отвечали неизбежно иным, ныне не существующим формам однородного живого вещества. Их числовые константы были иные.

Если, однако, при всем этом общий эффект жизни, даже в частности, например в явлениях выветривания, оставался одним и тем же, это указывает, что в сложной [организованности] биосферы происходили в пределах живого вещества только перегруппировки химических элементов, а не коренные изменения их состава и количества – перегруппировки, не отражавшиеся на постоянстве и неизменности геологических – в данном случае геохимических – процессов, в которых эти живые вещества принимали участие. Это новый факт огромной научной значимости, вносимый в биологию геохимическим изучением жизни.

В то самое время, как морфологически или геометрически жизнь, взятая в целом, постоянно изменяется, что выражается в грандиозной эволюции живых форм, неуклонно идущей от археозоя, в то же время числовое, количественное выражение жизни, взятой в целом, оставалось в своих главных величинах и, по-видимому, в главных функциях неизменным.

Правда, и в биологии внимательное изучение явлений эволюции указывает на чрезвычайную неравномерность ее хода. Нельзя говорить о постоянном изменении всех видов – всех форм жизни. Наоборот, мы имеем виды, остающиеся неизменными сотни миллионов лет, например, виды радиолярий докембрийских эпох не отличны от видов современных; виды *Lingula* сохраняются с кембрия до наших дней; они тоже неизменны в течение сотен миллионов лет в бесчисленных сменяющихся поколениях. Такие примеры, может быть не за столь долгие периоды времени, и для видов, несколько более изменившихся, могут быть найдены в большом числе. Можно, идя этим путем, и в живых формах видеть и изучать не их *изменчивость*, но их поразительное постоянство, их *устойчивость*. И эта устойчивость видовых форм в течение миллионов лет, миллионов поколений, может быть даже составляет самую характерную черту живых форм, заслуживающую глубокого внимания биолога. Вероятно, мы видим в этих чисто биологических явлениях проявление той же неизменности жизни в основном своем бытии на всем протяжении геологической истории, какую в другой форме вскрывает нам ее положение в структуре биосферы. Мне кажется, *эти явления устойчивости видов заслуживают более серьезного внимания биолога, чем это сейчас имеет место.*

Современная мысль биолога обратилась в другую сторону: *эволюция форм в течение геологического времени* кажется наиболее характерной чертой истории жизни и в нее облечены для нас все представления о живой природе.

Явление, эмпирически и безусловно установленное больше ста лет назад одним из самых глубоких и точных натуралистов, Г. Кювье, доказавшим существование иного, неведомого нам сейчас мира живых форм в прошлые геологические эпохи, вызвало со времени А. Уоллеса и Ч. Дарвина за последние 70 лет резкое изменение всего научного мировоззрения натуралистов. Эволюция видов заняла центральное место в этом мировоззрении, привлекла к себе внимание до такой степени, что затемнила другие, не менее, если не более, важные биологические явления. Эволюция видов заняла в научной мысли такое место, что всякое новое явление или всякое новое представление в биологии для того, чтобы войти в научную мысль, должно быть приведено в связь с ней или определено в своем отношении к эволюции видов. Уже по одному этому необходимо выяснить проявление эволюции видов в биогеохимических процессах, ибо дальнейшее развитие геохимической работы останавливается сейчас перед отсутствием данных, которые могут дать только биологи. Биогеохимические явления должны войти в круг интересов биологов. Но, помимо этого, искание связи эволюции видов с биогеохимическими явлениями представляет и само по себе огромный научный интерес. Несомненно, между ними должна быть связь.

Связь эволюции видов с организованностью биосферы, с ходом биогеохимических процессов несомненна хотя бы уже потому, что основные числа, характеризующие эти процессы, являются видовыми признаками, меняющимися в процессе эволюции. Очевидно, именно изучение этой связи позволит раскрыть взаимоотношение между постоянством жизни как целого в геохимии и ее эволюцией как целого в биологии. Это один из важнейших научных вопросов дня.

Можно подойти к этой проблеме точным путем изучения общего эффекта жизни в истории химических элементов Земли – *биогенной миграции химических элементов биосферы* и тех правильностей, которые с этой миграцией связаны.

Миграцией химических элементов мы будем называть всякое перемещение химических элементов, чем бы оно ни было вызвано. Миграция в биосфере может быть произведена химическими процессами, например во время вулканических извержений, вызвана движением жидких, твердых, газообразных масс при испарении и осадках, видна в движениях рек, морских течений, ветров, наблюдается при шарьяжах и при тектонических перемещениях земных слоев и т.п.

Биогенная миграция производится силами жизни и, взятая в целом, является одним из самых грандиозных и самых характерных процессов биосферы, основной чертой ее [организованности]. Огромные количества атомов, исчисляемые не квинтиллионами, а еще большими числами, находятся в непрерывной биогенной миграции. Здесь не место останавливаться на том эффекте, который достигается в биосфере биогенной миграцией такого масштаба; я останавливался на нем не раз в последнее время в моих книгах о биосфере и в геохимических очерках [1, 11]. Но некоторые основные черты биогенной миграции, познание которых важно для дальнейшего изложения, необходимо отметить.

Во-первых, *существует несколько разных, существенно различных форм биогенной миграции*. С другой стороны, *биогенная миграция теснейшим образом, генетически, непосредственно связана с веществом живого организма, с его существованием*. Точно и верно определил живой организм Г. Кювье как непрерывный во время жизни ток – вихрь – атомов, идущий из внешней среды и во внешнюю среду. Организм жив, пока ток атомов продолжается. Он охватывает все вещество организма. Дыханием, питанием, внутренним метаболизмом, размножением создается непрерывно каждым организмом отдельно или всеми ими вместе биогенный ток атомов, строящий и поддерживающий живое вещество. В общем это основная и главная форма биогенной миграции, количественное значение которой точно определяется массой живого вещества, существующего в данный момент на нашей планете. Но это не вся биогенная миграция.

Очевидно, эффект всей биогенной миграции не определяется прямо массой живого вещества. Он зависит не меньше, чем от количества атомов, и от интенсивности их движения, неразрывно связанного с жизнью. Чем больше раз будут оборачиваться атомы в единицу времени, тем биогенная миграция будет значительнее, она может быть резко различна при одном и том же количестве атомов, захваченных живым веществом. Это – *вторая форма биогенной миграции, связанная с интенсивностью биогенного тока атомов*.

Есть и третья. Эта третья в нашу геологическую эпоху, эпоху психозойскую, начинает приобретать небывалое в истории нашей планеты значение. Это – миграция атомов, производимая организмами, но генетически и непосредственно не связанная с вхождением или прохождением атомов через их тело. *Эта биогенная миграция производится техникой их жизни*. Ее, напри-

мер, производит работа роющих животных, следы которой известны с древнейших геологических эпох; таковы же отражения социальной жизни животных – постройки термитов, муравьев или бобров. Но исключительного развития достигла эта форма биогенной миграции химических элементов во время возникновения *цивилизованного человечества*, за последний десяток тысяч лет. Мы видим, как этим путем создаются новые, небывалые на нашей планете тела, например свободный металл, как меняется лик Земли, исчезает девственная природа¹.

По-видимому, наконец, к биогенной же миграции должны быть, в-четвертых, причислены те, *косвенным образом связанные с живым веществом изменения в положении атомов*, которые являются следствием брошенных организмами в биосферу новых соединений. *Вероятно, по своему эффекту это наиболее мощная форма биогенной миграции*. Она, однако, сейчас не может быть нами количественно учитываема и стоит в стороне от темы сегодняшнего доклада. Это, например, та миграция, которая вызвана созданием свободного кислорода зелеными организмами или изменением химических комбинаций, созданных гением человека. Правда, эта форма биогенной миграции далеко не всегда может быть отделена от первого и второго типа. Так, та мощная биогенная миграция, которая производится при разрушении тела отмерших организмов, теснейшим образом связана с биохимическими, вызванными жизнью специальных организмов процессами гниения и брожения. Но вся она к биохимическим процессам, конечно, сведена быть не может.

V

Разные формы биогенной миграции, здесь указанные, являются первой характеризующей ее особенностью, которую мы должны иметь в виду в дальнейшем изложении.

Другой своеобразной чертой ее является характер регулирующих ее физических законов.

Биогенная миграция является частью другого, еще более мощного процесса биосферы – *общей миграции ее элементов*. Эта миграция идет частью под влиянием энергии Солнца, энергии тяготения и воздействия внутренних частей земной коры на биосферу.

Все эти перемещения элементов, чем бы они ни вызывались, укладываются в систему определенных подвижных равновесий; в частности, в истории отдельных химических элементов они выявляются в замкнутых геохимических циклах – в круговоротах атомов. Они все выражаются законами неоднородных равновесий, могут быть в основном сведены к правильностям, формулированным Д. Гиббсом.

Круговороты, в которых принимает участие биогенная миграция, поддерживаются внешней, посторонней им, постоянно поступающей и их возобновляющей энергией. Формы лучистой солнечной энергии и энергии атомной играют в возобновлении этих процессов преобладающую роль.

Изучаемые вне этого поступления сторонней энергии равновесия представляют механические системы, системы, неизбежно приходящие к устой-

¹ Биосфера переходит в ноосферу.

чивому состоянию. Их свободная энергия в конце процесса будет нулевой или близкой к нулю, вся работа, которая может быть в этой системе произведена, будет в конце концов неизбежно исполнена. В таких равновесиях работа достигает максимума, свободная энергия спускается до минимума.

Биогенная миграция есть одна из главнейших форм работы в этих природных системах равновесий. Очевидно, она в них должна стремиться к минимуму своего проявления. Можно выразить это свойство биогенной миграции как основной биогеохимический принцип, неизбежно и автоматически регулирующий биогеохимические явления. Этот *первый биогеохимический принцип*, как я его называю, гласит: *биогенная миграция химических элементов в биосфере стремится к максимальному своему проявлению.*

VI

Посмотрим теперь, в чем и как проявляются в биосфере, в окружающей нас среде, указанные два свойства биогенной миграции – регулирующий ее первый биогеохимический принцип и существование для нее двух форм ее обнаружения: во-первых, непосредственно связанной с массой живого вещества и, во-вторых, связанной с техникой жизни.

При максимальном проявлении в биосфере биогенной миграции, очевидно, масса живого вещества должна достигнуть возможного предела, если только такой предел существует. Наблюдаемое как будто постоянство этой массы – количества жизни – в геологическое время, по-видимому, указывает на то, что биогенная миграция в этой форме своего проявления достигла уже предела или близка к пределу. Она, может быть, достигла этого состояния уже в самых древних, доступных нашему изучению геологических эпохах. Этого мы не видим для биогенной миграции элементов, связанной с техникой жизни. В нашу психозойскую геологическую эпоху мы наблюдаем резкий скачок ее проявления.

Присутствуя при росте этой формы биогенной миграции, мы должны, согласно первому биогеохимическому принципу, допустить, что эта форма миграции элементов неизбежно дойдет в конце концов с ходом времени до своего максимального предела, если такой предел существует, или будет стремиться обнаружиться в максимальном проявлении в данное время, постоянно повышая свой уровень выявления с ходом времени, если такового предела для нее не существует.

VII

Можно легко учесть правильность первого биогеохимического принципа, наблюдая проявление биогенной миграции в биосфере. Стремление к максимальному ее выражению в биосфере может быть наблюдаемо в природе в двух явлениях. Во-первых в том, что биогенная миграция захватит все возможное пространство – максимальное пространство, ей доступное по массе живого вещества и по технике его жизни. Это явление будет выражаться во *всюдности жизни в биосфере*. Эту всюдность жизни мы должны наблюдать в ней согласно этому принципу, и мы действительно ее наблюдаем [1, 11].

Но проявление биогенной миграции, обуславливающее ее геохимическую работу, связано не только с количеством захваченных ею в биосфере

в каждый момент атомов. Оно должно выразиться и в быстроте вызванного жизнью их движения, в количестве атомов, проходящих через живое вещество в единицу времени или перемещаемых в единицу времени его техникой в окружающей его среде. Это проявление первого биогеохимического принципа сказывается в том давлении жизни [1, 11], которое мы действительно наблюдаем в биосфере, и в том напряженном растущем темпе, каким идет техническое творчество цивилизованного человечества.

Необходимо при этом, особенно в явлении всюдности жизни, но также и в ее давлении, принимать во внимание существование в биосфере форм жизни, обладающих средой обитания коренным образом различного физического характера.

В сущности, можно и нужно допустить, что жизнь проявляется в двух физически различных пространствах. С одной стороны, она проявляется в поле тяготения, в котором мы живем сами и которое для нас наиболее обычно. Но это поле тяготения, где весь уклад явлений устанавливается тяготением, не охватывает всей области жизни.

Мельчайшие организмы достигают размеров, близких к молекулам, хотя и другой декады. Эти организмы – меньше стотысячной доли сантиметра диаметром – вступают в поле молекулярных сил, и их жизнь и связанные с нею явления определяются не только всемирным тяготением, но и теми излучениями, нас всюду окружающими, которые могут погашать для этих организмов условия бытия, создаваемые тяготением. Мы знаем, что и для этих мельчайших организмов наблюдается и всюдность их жизни, заполнение ими максимального пространства, и давление их жизни – чрезвычайный темп тока атомов, ими вызываемого. Это последнее явление достигает здесь наибольшей наблюдаемой для организмов величины.

VIII

Итак, можно считать, что всюдность жизни и ее давление являются выражениями того принципа в окружающей нас природе, который регулирует биогенную миграцию химических элементов.

Изучая относящиеся сюда природные явления, эмпирические факты, легко убедиться, что и всюдность достигается и давление жизни обуславливается не только неизменной, ныне наблюдаемой жизнью организмов. Эти явления меняются в ходе геологического времени и достигаются в значительной мере эволюционным процессом. Создание эволюционным путем новых форм жизни, приспособляющихся к новым условиям ее бытия, увеличивает всюдность жизни, расширяет ее область. Жизнь этим путем вносится в такие места биосферы, в которых она раньше не существовала.

И вместе с тем мы видим, как создаются в течение геологического времени новые формы жизни, или увеличивающие темп тока атомов через живое вещество или создающие новые, небывалые их проявления, новые их движения.

Внимание, какое все время, в течение трех научных поколений, направляли натуралисты на явления эволюции видов, позволило произвести анализ окружающей нас живой природы и убедиться в том, что как наблюдаемая всюдность жизни, так и давление жизни коренным образом изменены и уси-

лены в течение геологического времени. Это совершенно эволюционным процессом, оно достигнуто *приспособлением организмов в течение геологического времени*, в результате увеличившим и всюдность жизни и ее давление. Два-три примера достаточны для того, чтобы пояснить мою мысль.

Так, ясно из анализа пещерной фауны, что она составлена из организмов, раньше живших на свету. Они приспособились эволюционным путем к новым условиям и увеличили область жизни. То же самое верно, для части по крайней мере, для глубоководного бентоса. Он приспособился к условиям большого давления, холода и мрака, развился из организмов, живших в иных условиях. Это явление новое, расширяющее область жизни биосферы. Анализ этих явлений как будто указывает на дрящея и в нашу геологическую эпоху расширение области жизни заселением глубин [11].

На каждом шагу и в других явлениях наблюдаются такие процессы. Флора и фауна горячих ключей, флора и фауна высокогорных областей или пустынь, флора и фауна ледниковых и снежных полей созданы эволюционным путем. Жизнь медленно, приспособляясь, завоевала новые области для своего бытия, увеличивала эволюционным процессом биогенную миграцию атомов биосферы.

Эволюционный процесс не только расширял область жизни, он усиливал и менял темп биогенной миграции: создание скелета позвоночных изменило и усилило, концентрируя его, миграцию атомов фтора и, вероятно, фосфора; создание скелетных форм водных беспозвоночных коренным образом изменило и усилило миграцию атомов кальция.

Нечего и говорить о том чрезвычайном подъеме давления жизни в биосфере, которое создано появлением в биосфере путем эволюционного процесса *Homo sapiens* в той его форме, которую, может быть, правильно назвать, соединяя термины Линнея и Бергсона и придерживаясь тройного названия вида, *Homo sapiens faber Homo sapiens faber* – его мысль – есть новый факт, возмущающий вековой, геологически вековой, уклад биосферы.

IX

Так, эмпирический анализ окружающей природы ясно и непреклонно устанавливает, что всюдность и давление жизни утверждаются в биосфере эволюционным путем. Другими словами, *наблюдаемая на нашей планете эволюция живых форм в течение геологического времени увеличивает в течение этого времени проявление биогенной миграции химических элементов в биосфере*.

Очевидно, то механическое условие, которое определяет неизбежность такого характера биогенной миграции атомов, действовало непрерывно в течение всего геологического времени, и с ним должна была считаться происходившая в это время эволюция живых форм. Механическое условие, определяющее такое выявление биогенной миграции элементов, вызвано тем, что жизнь является неразрывной частью механизма биосферы, является в сущности той силой, которая определяет ее существование.

Очевидно, и наблюдаемая эволюция видов должна быть связана со строением биосферы. Ни жизнь, ни эволюция ее форм не могут быть независимыми от биосферы, не могут быть ей противопоставляемы, как независимо

от нее существующие природные сущности. Исходя из этого основного положения и доказанного научным наблюдением участия эволюционного процесса в создании всюдности и давления жизни, проявляющихся в современной биосфере, может быть сформирован новый *биогеохимический принцип*, касающихся эволюции живых форм. Этот биогеохимический принцип, который я буду называть *вторым биогеохимическим принципом*, может быть сформулирован следующим образом: *эволюция видов, приводящая к созданию форм жизни, устойчивых в биосфере, должна идти в направлении, увеличивающем проявление биогенной миграции атомов в биосфере.*

X

Конечно, этот принцип отнюдь не объясняет эволюции видов и стоит в стороне от тех разнообразных попыток ее объяснения – теорий эволюции, – которые сейчас занимают научную мысль. Он принимает эволюционный процесс как эмпирический факт или, вернее, как эмпирическое обобщение и связывает его с другим эмпирическим обобщением – со строением биосферы.

Но он далеко не может быть безразличным для теорий эволюции. Ибо он, мне кажется, логически неизбежно указывает на существование определенного *направления*, в котором должен идти эволюционный процесс. То же направление, вытекающее из данных наблюдений, вполне совпадает в своем научно точном обозначении с принципами механики, со всем нашим знанием о земных физико-химических процессах, одним из которых является биогенная миграция атомов. С существованием такого определенного *направления* эволюционного процесса, который при дальнейшем развитии науки, несомненно, можно будет определить количественно, должна считаться каждая теория эволюции.

Мне кажется, невозможно сейчас оставлять в стороне при построении теорий эволюции и по другим соображениям этот вопрос – вопрос о существовании *определенного направления в эволюционном процессе, неизменного на всем его протяжении*, в течение всего геологического времени. Взятая в целом палеонтологическая летопись имеет характер не хаотического изменения, идущего то в ту, то в другую сторону, а явления, определенно развертывающегося все время в одну и ту же сторону – в направлении усиления сознания, мысли и создания форм, все более усиливающих влияние жизни на окружающую среду. Существование определенного направления эволюции видов может быть точно установлено наблюдением.

Я в общих чертах, на немногих примерах, остановлюсь на ходе эволюционного процесса палеонтологической летописи, с точки зрения изменений биогенной миграции, этим путем происходившей в течение геологического времени.

XI

Около кембрийского¹ времени, на границе более точно изученного живого мира былого, по-видимому, произошло появление *высших беспозвоночных*. Это время не может считаться вполне установленным, но только это

¹ Сейчас правильнее сказать, может быть, альгонкского. Надо думать, радиологический метод определения геологического времени позволит точно установить эту дату.

допущение объясняет и притом простым образом, то резкое изменение в сохранности организмов палеонтологической летописи, которое произошло около того времени, – позже кембрия или близко от начала кембрийского времени. Совершенная неизменность за все докембрийское время процессов выветривания, их полная в общих чертах тождественность с аналогичными современными процессами, их полное тождество до наших дней едва ли позволяют нам искать объяснения отсутствия сохранности форм в различии условий внешней среды.

В то же время нет никаких оснований предполагать, что как раз в это геологически критическое время – благодаря определенной длительности ее процессов – метаморфизация земных слоев случайно отразилась именно в этот момент и выразилась в отсутствии остатков организмов. Для этого надо допустить, что все более древние слои метаморфизованы. Но уже сейчас известны многочисленные случаи слоев древнее кембрия, метаморфизация которых меньше метаморфизации и самого кембрия и геологически новых слоев.

По-видимому, правы геологи, допускающие здесь резкое изменение в *биогенной миграции атомов кальция* – первое дошедшее до нас или нами учтенное явление этого рода.

Мы можем представить себе значение этого события, если вспомним роль в биосфере организмов, чрезвычайно обогащенных кальцием (организмы содержат его больше всех металлов), в отложениях известняков. Механизм биогенной миграции кальция получил в указываемую эпоху необычайные изменения: миграция эта сразу усилилась. Судя по тому, что нам известно об интенсивности миграции кальция в связи с созданием скелета высших беспозвоночных, например моллюсков или кораллов, по сравнению с организмами микроскопическими, его раньше отлагавшими, надо допустить чрезвычайное увеличение темпа его миграции при создании этих новых форм жизни. Увеличение произошло быстро.

Возможно, что такое изменение биогенной миграции кальция путем создания новых видов, богатых кальциево-карбонатными скелетными образованиями, связано с захватом жизнью в это время новых областей земной коры. Это изменение должно было ярко отразиться также в истории углекислоты.

На границе палеозоя, а может быть в кембрии же, произошло другое огромное явление в биогенной миграции атомов, связанное с коренным изменением древесной растительности суши. Процесс постепенного совершенствования этих организмов, полный расцвет которых, по-видимому, подошел к зениту в третичной эпохе, длился несколько геологических эпох. Он связан с завоеванием огромного нового пространства для жизни – тропосферы. Создание леса, полного жизнью, произвело необычайное изменение в миграции атомов кислорода, углерода, водорода, но одновременно должна была усилиться миграция всех атомов, связанных с жизнью, прежде всего усилиться их круговорот, ибо лес, особенно лиственный лес новых геологических эпох, скопляет жизнь и растительную и животную в исключительной, раньше неизвестной степени. Если сравнить с этой точки зрения лес тайнобрачных палеозоя с нашим или третичным лесом явнобрачных, разница получится огромная в направлении увеличения проявления биогенной миграции с ходом геологического времени.

В мезозойское время совершился новый факт, увеличивший проявление биогенной миграции – появление *птиц*. Этим путем область тропосферы вновь усилилась жизнью. Развитие летающих организмов, резко и во много изменивших биогенную миграцию в сторону ее большего проявления, длилось геологические периоды, пока не достигло своего завершения в классе птиц в мезозое и в третичном времени. Две огромных биогеохимических функции связаны с этими воздушными формами жизни, которые едва ли в такой мере могли быть связаны с летающими беспозвоночными, идущими в большую глубь времени, до начала палеозоя, хотя часть этой функции летающие беспозвоночные, несомненно, производят и производили. Но все же только появление птиц довело механизм биогенной миграции в это время до небывалого раньше в геологическом времени размаха.

В строении биосферы, в биогенной миграции атомов птицы, а равно другие летающие организмы играют огромную роль в обмене вещества между сушей и водой, главным образом между сушей и океаном. Здесь роль птиц обратная роли рек, но приближающаяся к ним по масштабу передвигаемых масс материи. Переселение птиц еще более увеличивает такое их значение в биогенной миграции атомов. Появление этих летающих видов позвоночных не только создало новые формы биогенных миграций и резко отразилось на химическом балансе моря и суши, но внесло изменения (усиление биогенной миграции) в историю отдельных элементов, в частности фосфора. В его истории летающие беспозвоночные – насекомые – в такой мере значения иметь не могли. Правда, летающие ящеры появились раньше птиц, но все указывает, что они не достигли того масштаба влияния, которое имеют птицы¹. По-видимому, появление птиц связано с созданием новых типов лесов, во всяком случае с ним совпало.

Гораздо большее, по сравнению с другими позвоночными, изменение в биогенной миграции произвело цивилизованное человечество. Здесь, впервые в истории Земли, биогенная миграция, вызванная техникой жизни, может быть преобладает по своему значению над биогенной миграцией, производимой массой живого вещества. При этом изменились биогенные миграции для всех элементов. Этот процесс совершился чрезвычайно быстро, в геологически ничтожное время. Лик Земли изменился до неузнаваемости, и совершенно ясно, что процесс изменения только что начался. Он целиком входит в условия второго биогеохимического принципа: изменение приводит к чрезвычайному усилению проявления биогенной миграции атомов биосферы.

Два явления должны быть здесь отмечены: во-первых то, что человек – едва ли кто сейчас может в этом сомневаться – создан эволюционным процессом, и, во-вторых, наблюдая производимое им изменение в биогенной миграции, мы видим, что это изменение нового типа идет, все увеличиваясь, с чрезвычайной резкостью.

Вполне допустимо поэтому, что и в другие периоды палеонтологической летописи изменения в биогенной миграции происходили созданием новых животных и растительных видов не менее резко.

¹ Может быть, в летающих ящерах надо видеть начало того большого процесса изменения миграции химических элементов, которое сейчас выражено в птицах.

Я здесь остановился на отдельных, более крупных явлениях эволюции видов в отражении ее в биогенной миграции химических элементов. Во всех этих случаях ясно ее согласие со вторым биогеохимическим принципом. Мне кажется, анализ палеонтологической летописи указывает на это согласие во всех случаях.

Каким путем это согласие происходит – путем ли действия слепых столкновений случайностей или же путем более глубокого процесса, вызванного свойствами жизни, непрерывной и генетически связанной в своем проявлении в течение всей геологической истории планеты, – решит будущее. Регулирующее влияние второго биогеохимического принципа скажется в обоих случаях.

Если бы создание видов происходило вслепую, случайно, вне зависимости от окружающей среды, т.е. от организованности биосферы, то все же не всякий вид, случайно создавшийся, мог бы выжить и войти в сложный биоценоз планеты; выжил бы тот, который был бы в нем устойчив, т.е. который увеличивал бы биогенную миграцию атомов биосферы.

Едва ли, однако, возможно в настоящее время так элементарно просто противопоставлять организм среде, т.е. биосфере, как это делалось раньше. Мы знаем, что организм в среде – не случайный гость: он часть ее сложной закономерной [организованности]. И частью той же [организованности] является его эволюция.

Натуралист должен из своего мировоззрения в научной работе выбросить из употребления представления, которые вошли в науку только из во многом чуждых ему областей духовной жизни – из философии или религии. Таким чуждым представлением является допущение в вопросах эволюции отделения организма от среды, т.е. биосферы, и их противопоставления. С этой точки зрения вероятнее, что согласие эволюции с регулирующим ее принципом связано более глубоко с организмами и не есть лишь внешнее явление совпадения случайностей.

XII

Не касаясь причин эволюции и отмечая только неизбежность для нее определенного направления, изучение биогеохимических явлений ставит, однако, этим в определенные рамки область допустимых в науке теорий эволюции.

Мне кажется, это изучение подводит нас еще к другой области явлений, новой для научной работы, которая до сих пор была непререкаемым делом только философского и религиозного творчества. Новая форма биогенной миграции – новая, по крайней мере, в таком ее масштабе – вызвана, как мы видим, деятельностью человеческого разума, человеческого сознания. А между тем она ничем не отличается от других проявлений биогенной миграции, связанных с другими функциями жизни. Сознание и мысль не могли быть, несмотря на усилия поколений мыслителей и ученых, сведены ни на энергию, ни на материю, в каком бы то ни было из разнообразных пониманий этих основ научного мышления о природе.

Как же может сознание действовать на ход процессов, как будто целиком сводимых на материю? Вопрос этот был недавно поставлен, как раз в связи с этого рода явлениями, американским математиком А. Лотка [34]. Едва ли он

дал на него удовлетворительный ответ. Но на его значение и на возможность научного к нему подхода он указал правильно.

По-видимому, мы не можем подойти к решению той проблемы без коренного изменения наших основных физических представлений, которые только что пережили и переживают небывалые по быстроте в истории мысли изменения. Перед нами стоит новое, не меньшее дальнейшее изменение. Оно неизбежно связано с проникновением основных явлений жизни в построение физических теорий. В этом направлении сейчас работает мысль. Нельзя оставить без внимания эти новые, глубокие искания. Среди них заслуживают обсуждения любопытные, правда более философские, чем научные, построения английского математика и мыслителя Уайтхеда [35]. Очень возможно, что прав в своих провидениях другой английский мыслитель Э. Хальдан [36], предвидящий в ближайшем будущем коренное изменение физики и ее представлений под влиянием научного охвата ее явлениями жизни [38]. Изучение биогеохимических явлений в своем возможно глубоком подходе как раз вводит нас в эту область неразрывного проявления явлений жизни и явлений физического строения мира, в область новых построений научной мысли будущего. В этом – глубокий и научный и философский, жгучий современный интерес проблем биогеохимических.

О ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ*

Проф. А.Н. Лебедянцевым из Шатиловской опытной сельскохозяйственной станции в Новосильском р-не Орловской обл. закончены для одного года – 1927 – определения геохимических постоянных для главных культурных растений, за исключением овса: для озимой ржи, озимой пшеницы, проса, льна, клевера, конопли, картофеля и свекловицы.

Работа эта, которая велась в теснейшем контакте с Биогеохимической лабораторией Академией наук, напечатана в первой своей части в Трудах Биогеохимической лаборатории [53, стр. 49], здесь же я хочу, не откладывая, опубликовать одну из таблиц А.Н. Лебядянцева. Мне кажется чрезвычайно желательным и важным, чтобы та же работа была произведена на других наших опытных сельскохозяйственных станциях для того, чтобы в конце концов получить соответствующие константы для всей территории нашей страны и для всех разнообразных культурных растений, на ней возделываемых.

Те же самые растения, для которых получены сейчас биогеохимические данные, анализируются в нашей лаборатории. Для всех них будет определен химический элементарный состав. В соединении с их геохимическими постоянными будет, таким образом, получен полный количественный учет вызываемой ими биогенной миграции химических элементов в биосфере, миграции количественно различной не только для разных видов растений, но и для разных химических элементов, захватываемых одним и тем же растительным видом или культурной расой.

* Впервые опубликовано в: ДАН СССР. 1929. Сер. А. № 2. С. 38. Опубликовано также в: Биогеохим. очерки. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 167–168.

Таблица А.Н. Лебеянцева

Растения*	Площадь, занимаемая одним растением K_3 , см ²	Средний вес живого растения в земле с корнями m , г	Среднее количество семян на одно растение q	Коэффициент размножения Δ	Скорость передачи геохимической энергии v_3 при густоте популяции K_3 , см/сек
<i>Sesale cereale</i> , озимая рожь местная	64,8	10,45	82,1	0,0174	14,35
<i>Sesale cereale</i> , озимая рожь селекционная	47,8	7,96	57,5	0,0160	13,15
<i>Triticum</i> , озимая пшеница местная	69,5	10,52	72,6	0,0168	13,3
<i>Triticum</i> , озимая пшеница селекционная	44,8	6,89	40,6	0,0146	11,95
<i>Panicum miliaceum</i> var., просо местное	39,1	6,49	255	0,02235	18,2
<i>Panicum miliaceum</i> var., просо селекционное	38,1	5,47	154	0,0199	16,1
<i>Linium usitatissimum</i> var., лен местный	25,5	2,01	84,8	0,01755	14,2
<i>Linium usitatissimum</i> var., лен селекционный	23,8	1,85	80,0	0,01735	13,85
<i>Trifolium pratense</i> var. <i>foliosum</i> , клевер	207,2	23,90	406,5	0,0237	20,15
<i>Sannabis sativa</i> , конопля без удобрения	33,5	4,01	26,8	0,0103	8,35
Id., удобрение N, P	40,8	9,43	47,3	0,01285	10,2
Id., удобрение N, P, K	34,8	5,34	35,0	0,01125	9,25
Id., удобрение навоз	30,9	4,63	33,5	0,011	9,0

* О значении приводимых здесь величин K_3 , m , Δ и v_3 см. [Биогеохим. очерки. М.; Л.: изд-во АН СССР, 1940] стр. 66, 71, 73.

В статье А.Н. Лебеяднцева изложены разнообразные количественные соотношения, которые получены при определении геохимических констант, и даны все числа. Я приведу здесь лишь таблицу на следующей странице, сводящую средние данные. В статье А.Н. Лебеяднцева приведены все данные, которые определяют точность и колебания средних величин, здесь приводимых.

Я хочу отметить из возможных выводов лишь немногие. Скорость передачи геохимической энергии [заселения планеты], которая определяет максимальную миграцию химических элементов в биосфере, колеблется для изученных культурных растений в пределах [см/сек]:

Конопля без удобрения	8,35
Клевер	20,15

Эта скорость для наибольшего и наименьшего изменения биогенной миграции относится как 1 : 2,41 для культурных растений, приводимых в таблице А.Н. Лебеяднцева. Миграция атомов, вызываемая жизнью клевера, больше чем в 2,4 раза интенсивнее миграции, производимой жизнью конопли.

Бросается в глаза, что *геохимическая энергия лучших селекционных сортов меньше той же энергии обычных культурных рас.*

Эти сорта могут сохраняться, следовательно, в культурных условиях только при условии затраты лишнего труда и мысли человека.

Чрезвычайно важно сейчас точное определение этих величин для сорняков и для дикой растительности, которая заменяется сейчас нашими культурными полями. По-видимому, для сорняков и для дикой флоры величина v_3 значительно больше той же величины для культурных рас. Та новая живая природа, которую гений человека заменяет природу, создавшуюся вне его участия, вне направляемой им энергии, связана с меньшей, а не с большей биогенной миграцией.

Так это или нет – эта и многие другие важные проблемы могут быть количественно, научно точно разрешены дальнейшим получением геохимических констант для возможно большего количества видов и рас организмов, из возможно большего количества их местообитаний.

Надо надеяться, что начало, положенное А.Н. Лебеядцевым, к этому приведет¹.

О КОНЦЕНТРАЦИИ РАДИЯ ЖИВЫМИ ОРГАНИЗМАМИ*

I

Поставленные нами в Государственном радиовом институте и в Биогеохимической лаборатории определения радиоактивности организмов, про-

¹ Эту работу пришлось отложить, так как Шатиловская опытная станция переменяла направление (стала селекционной). Сделанные анализы еще не опубликованы, но частью закончены. Я убежден, что путь, по которому мы пошли, правильный, и рано или поздно ли по нему – или близко – пойдет научная работа, и ее результаты будут приложены к жизни.

* Доклад, прочитанный в Физико-математическом отделении Академии наук 16 января 1929 г. Впервые опубликовано в: ДАН СССР. 1929. Сер. А. Т. 1. № 2. С. 33–34; 1930. Т. 2. № 20. С. 539–542. В дальнейшем опубликовано в: Избр. соч.: В 5 т. М.; Л. Изд-во АН СССР, М., 1960. Т. 5. С. 267–270.

изведенные Б.К. Бруновским¹, установили концентрацию радия растительными и животными организмами из окружающей их среды в течение их жизни.

Это может считаться доказанным для водных организмов и установлено для двух видов ряски – *Lemna minor* L. и *Lemna polyrrhiza* L.

Плавающие водные растения, как ряска, могут брать радий только из воды, в которой они живут. Отношение количественного содержания радия в воде к такому же содержанию радия в живом растении (содержащем обычно более 90% воды) даст меру концентрации радия во время жизни организма, если она происходит.

Определения Б.К. Бруновского дали положительный ответ на этот вопрос.

Вода из Оранжевого пруда в Петергофе (в Петергофском научном биологическом институте) дала следующие содержания радия [%]:

Вода, взятая в 1927 г., поверхностная проба	$6,8 \cdot 10^{-13}$
» » » 1927 г., глубинная проба	$8,8 \cdot 10^{-13}$
» » » 1928 г., поверхностная проба	$6,8 \cdot 10^{-13}$

Живущая в этом пруду ряска имела следующие содержания радия:

Ряска 1927 г. – смесь <i>Lemna minor</i> и <i>L. polyrrhiza</i>	$3,9 \cdot 10^{-11}$
» 1928 г. – <i>L. minor</i>	$9,4 \cdot 10^{-12}$
	92,10% воды
» 1928 г. – <i>L. polyrrhiza</i>	$3,1 \cdot 10^{-11}$
	91,15% воды

В предельном случае содержания радия в живом организме (содержащем более 90% воды) в 56,5 раза больше количества его в воде.

Несомненно, организм не концентрирует радий случайно. Дальнейшие исследования должны выяснить этот вопрос. Здесь же я отмечу только, что *различные виды ряски берут в одном и том же биоценозе из окружающей среды разные количества радия. Это содержание, как и нахождение всех химических элементов в организме, должно быть видовым признаком.*

Определения Б.К. Бруновским радия в наземных растениях и у водных животных дали те же концентрации (порядка 10^{-11} %) для живых организмов. Это количества, отвечающие количеству радия в массивных породах (средних и основных) и во много превышающие его количества в вадозных пресных и соленых водах биосферы.

Это последнее обстоятельство ставит перед нами новую проблему, к изучению которой мы приступили.

Для наземных растений Б.К. Бруновский получил следующие числа [содержания Ra, %] (на живое растение):

<i>Melampyrum nemorosum</i> L.	$3,53 \cdot 10^{-11}$
<i>Rumex obtusifolius</i> L.	$1,70 \cdot 10^{-11}$
<i>Stellaria holostea</i> L.	$1,73 \cdot 10^{-11}$
<i>Vaccinium myrtillus</i> L. (черника)	$2,23 \cdot 10^{-11}$

¹ Работа Б.К. Бруновского печатается в т. 1 Трудов Биогеохимической лаборатории Академии наук. В ней приведены все данные и литература.

Первые три растения взяты в Петергофе; черника – в Детском Селе. Растения могут брать радий только из почвенных растворов. Определения радия для почвенных растворов мне неизвестны – опыты над его в них нахождению мы ставим. *Концентрируют ли наземные растения радий по сравнению с почвенными растворами?* Это покажет опыт. Почвы обладают радиоактивностью (на Ra) большего или того же порядка, что и изученные в нашем институте растения. В них обычно содержится 10^{-10} – 10^{-11} % радия. Но, очевидно, нельзя сравнивать содержание радия в наземных растениях с содержанием радия в почвах, ибо только небольшая часть радия почв доступна живущим в почвах организмам.

Выясняется в геохимии радия в биосфере следующий общий процесс: *радий из водных растворов поступает в водные организмы – растительные и животные; при этом наблюдается значительная – в десятки раз – его концентрация. Из водных же растворов (почвенных) он поступает в наземные растения и из них (через пищу) и из питьевой воды в наземные животные.*

Очевидно, концентрация радия живым веществом биосферы должна существенным образом влиять на энергетику биосферы и организмов. Мы ставим сейчас работы над нахождением в живых организмах урана и тория.

II

1. Представляя статью моих сотрудников о нахождении радия в живых растениях¹, считаю необходимым сделать несколько дополнительных к ней замечаний. Эта работа является продолжением работы (прошлого года), числа которой были уже мною сообщены. Тогда было определено содержание радия для разных видов рода *Lemna* и для воды прудов, где они живут, причем оказалось, что живое растение концентрирует радия больше чем в 40 раз по сравнению с водой.

В связи с другой работой, производящейся в Радиовом институте, явилось – уже после отпечатания моего сообщения – сомнение о заражении радием всего помещения института, и потому вся работа по определению радиоактивных элементов в живых организмах была перенесена в другое помещение, вне института, предоставленное Академией наук.

Сомнения подтвердились, и ранее опубликованные числа оказались неверными, но самое явление осталось неизменным: сохранилась та же концентрация радия ряской урожая 1926 г. в 40 раз больше по сравнению с водой, т.е. вода и ряска оказались одинаково зараженными радием и числа уменьшились в одинаковой степени в обоих случаях. Однако одновременно произведенное определение радия в другом сборе ряски (в 1929 г.) и воды в тех же Петергофских прудах дало значительно меньшую концентрацию радия ряской.

Производящиеся сейчас исследования позволяют выяснить, в чем тут дело.

2. Из измерений видно, что другие виды ряски – *Lemna gibba* L. и *Lemna trisulca* L. в прудах около Киева дают другие, гораздо большие концентрации радия.

Так, для *Lemna minor* (с примесью *L. polyrrhiza*) Петергофских прудов эта концентрация по отношению к воде достигает 13,7 – 47 раз, для *L. gibba*

¹ Б.К. Бруновский, К.Г. Кунашова. ДАН СССР. 1930. Сер. А. № 20. С. 537.

и *L. trisulca* из окрестностей Киева – от 200 до 477 раз по крайней мере. Для киевских прудов мы подошли к случаю (для *L. trisulca*), когда ряска содержит радий ($9,75 \cdot 10^{-12} \%$), а вода не дает возможности его определить, т.е. содержит его меньше $2 \cdot 10^{-14} \%$. Происходящая сейчас работа выяснит, имеем ли мы здесь дело с чисто биологическим фактом – влиянием данного вида растений или же с биолого-геохимическим разным характером воды и физико-географических условий.

Первое допущение кажется более вероятным, ибо, как это вытекает из происходящих сейчас в Биогеохимической лаборатории исследований, химический состав видов рясок индивидуален и различен; в частности, *L. gibba* дает очень значительные отличия.

3. Определение концентрации радия организмами ставит сейчас проблемы частью биологического, частью геохимического характера.

Геохимически выдвигается вопрос о равновесии «радий \rightleftharpoons живые организмы в водной среде».

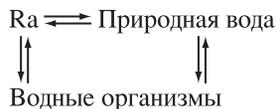
Необходимо иметь в виду, что концентрация в наших опытах относится к живому растению, содержащему около и больше 90% воды. Сухое вещество или зола являются соответственно более богатыми радием, но для выяснения указанного выше равновесия все преимущества имеет выбранный здесь способ обозначения концентрации.

Концентрация радия из водных растворов живущими в них организмами должна обратить особое наше внимание, так как раствор радия в воде отличается от обычного раствора тем, что каждый атом радия является источником энергии и разлагает молекулы воды на O_2 и H_2 . Если радий изымается организмами из воды, эта реакция в воде прекращается.

Случай с киевской *L. trisulca* интересен с этой точки зрения: он показывает, что радий собирается в организмах, а в воде нельзя найти его при современной точности наших измерений. Здесь повторяется явление, которое констатировано для других химических элементов водных бассейнов; например, по А. Готье¹, иод, не связанный с организмами, отсутствует (т.е. не обнаруживается при точности нашей методики) в верхних слоях Средиземного моря, марганец не обнаруживается в морской воде, хотя несомненно там существует и собирается организмами², фосфор нацело (в этом понимании) извлекается в период цветения планктона в море³ и т.п.

Весьма возможно, что этим путем удерживается в организмах весь радий, находящийся в морях. Уже Д. Джоли⁴ подчеркнул своеобразие его распределения, заставляющее предполагать захват – концентрацию его планктоном.

Сейчас, в связи с нахождением подземных вод, богатых радием, выяснение равновесия



получает особое значение.

¹ A. Gautier. C.r. Acad. sci. 128–129, 1899.

² Ср. J. Murray a. R. Irvine. Transact. Edinb. roy. soc. 37, 1895, 725.

³ W. Atkins. Journ. Mar. Biol. Assoc., 12–14, 1923–1926.

⁴ J. Joly. Phil. Mag., 18, 1909, 296.

Является ли живое вещество в этих условиях – в водных растворах – фактором, влияющим на радиогенное выделение кислорода, его прекращающим и ослабляющим? Лишь дальнейшее изучение радиоактивности вод природных водных бассейнов в связи с развитием в них жизни позволит разобраться в этом явлении.

Есть ли связь между содержанием радия в воде и интенсивностью жизни? Для решения этого вопроса надо изучить годовой ход содержания радия в природных бассейнах. К этому мы приступаем.

Концентрация радия водными организмами ставит на очередь вопрос о происхождении радия в напорных нефтяных водах – возможно органогенное его в них происхождение. Надо убедиться, не является ли он в этих водах, так же как и нефть, фактическим продуктом жизни¹.

4. Концентрация радия организмами ставит и вопросы биологического характера – о значении радия в физиологических процессах.

Здесь пока можно (и нужно) идти первым делом путем накопления фактов, возможно большим количественным определением радия в возможно большем числе видов организмов. Из измерений явствует, что для растений, водных и наземных, весовое содержание радия колеблется в пределах от $1,3 \cdot 10^{-11}$ до $2,0 \cdot 10^{-12}$ %. Для рясок это будет отвечать в атомах на организм²:

L. minor ³	1,02 · 10 ⁵ атомов Ra ⁴	}	в индивидуе
L. gibba	5,83 · 10 ⁵ » »		
L. trisulca	8,91 · 10 ⁵ » »		

Коэффициенты для всех троих видов Lemna явно и резко различны, порядок же количества атомов один и тот же⁵.

Проблема, стоящая сейчас перед нами в первую очередь: выяснить, имеем ли мы дело с *миграцией радия или миграцией урана*, поглощает ли организм атомы радия или атомы урана? Или те и другие? Ясно, что определение отношения Ra : U в организмах решит вопрос и имеет большой интерес. Уран, по-видимому, входит в растения; знаю, впрочем, только определения П.А. Волкова для растений, живущих на отвалах Тюя-Муюнского рудника в Фергане, но этими растениями могла быть захвачена пыль радиевых минералов рудника⁶. К сожалению, определения в них радия сделано не было. Сейчас в нашей Биогеохимической лаборатории ставится систематическое определение урана в ряске и других организмах с целью определить отношение Ra : U в живых организмах и убедиться в нахождении урана в живых организмах.

¹ В.И. Вернадский. К вопросу о радиоактивности нефтяных буровых вод [Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 1. С. 629–631].

² В.И. Вернадский. Биогеохимические очерки. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 147.

³ Очевидно, эти данные требуют поправок, так как была примесь L. polyrhiza.

⁴ Для L. gibba и L. trisulca взяты средние определения и средние веса.

⁵ Об этом методе выражения химического состава см. В.И. Вернадский. О рассеянии химических элементов [Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 1. С. 519–527].

⁶ Доклад в Государственном радиевом институте в 1924 г.

ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ ОБ ИЗУЧЕНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ*

I

Много времени спустя после постановки проблемы изучения химического состава живого вещества, т.е. среднего химического состава живых организмов в связи с геохимическими явлениями¹, оказалось возможным подойти к количественному ее разрешению.

Уже в 1923 г. опубликованы работы В.С. Садикова и А.П. Виноградова [42], посвященные изучению химического состава живых организмов и выяснению новой методики таких определений. Необходимость новых методов работы сразу стала перед исследователями, как только они приступили с новой точки зрения к химическому анализу организмов. В.С. Садиков со своими сотрудниками непрерывно продолжает эту работу, изучая применение автоклавного метода обработки организмов [43]. Проф. Н.Д. Зелинский [44] в своих работах над пчелами дал новые данные и в то же время выдвинул методологические проблемы, в частности по отношению к определению азота.

Но лишь в 1927 г. благодаря помощи Всесоюзной Академии наук и Государственного радиового института оказалось возможным подойти к изучению поставленной проблемы в более систематической и широкой, хотя и очень несовершенной форме. Создался центр этой работы, сперва при Комиссии по изучению естественных производительных сил при Всесоюзной Академии наук, в виде специального отдела живого вещества, а затем с 1928 г. в виде особой Биогеохимической лаборатории, одной из основных задач которой является систематическое количественное выяснение химического состава живых организмов на фоне их химического отражения в окружающей их среде. Почти через десять лет после постановки вопроса о создании особого центра работы в области Биогеохимических проблем в Украинской и Российской академиях наук, такой центр близится к осуществлению, и, надо надеяться, количественная биогеохимическая работа получает прочное основание.

II

Начиная сейчас новую специальную серию, посвященную биогеохимическим проблемам и печатая первые работы о химическом составе живого вещества, я считаю необходимым остановиться предварительно на общих основаниях нашей работы, на некоторых возникающих при этом проблемах и на общих задачах, нами поставленных.

Такие общие замечания представляются мне тем более необходимыми, что печатаемые работы являются первыми из многих других, которые все вместе составляют единое целое.

* Впервые опубликовано на французском языке в: Тр. Биогеохим. лаборатории. Т. 1. 1930. Также опубликовано в: Биогеохим. очерки. М.; Изд-во АН СССР, 1940. С. 147–166.

¹ Кроме статей, помещенных в Трудах Биогеохимической лаборатории, см. также работы В. Вернадского [2, 21, 37, 38, 39, 40, 41].

III

Прежде всего необходимо сказать несколько слов об общей программе наших работ, лишь частью которой является количественное изучение химического состава живого вещества. Наша работа, идущая на средства Всесоюзной академии наук и Государственного радиевого института и при поддержке других научных учреждений – Украинской академии наук в Киеве и ее Биологической пресноводной станции в Староселье, Исследовательского биологического института в Сергиевке (около Ст. Петергофа), Плавучего морского научного института в Москве, Мурманской биологической станции в Александровске и Опытной сельскохозяйственной станции в Шатилове – сейчас идет по четырем направлениям, одновременное изучение которых называется, мне кажется, сутью дела.

Во-первых, идет работа по выяснению проблемы о тождественности или различии смесей *изотопов химических элементов в живом веществе* по сравнению с изотопическими смесями химических элементов косной – не живой материи. Эта работа сводится к определению атомного веса элементов, выделенных из живых организмов, или к выявлению другим путем их физической структуры. Части организмов (иногда целые организмы, например семена), которые необходимы для этой работы, берутся нами не случайно, но в определенной зависимости от физиологической организации и биологических функций.

Другой работой является *количественное определение химического элементарного состава живых организмов* – первые результаты ее сейчас опубликовываются в Трудах Биогеохимической лаборатории. В теснейшей связи с этой задачей стоит, как увидим, вопрос об определении среднего веса живых организмов, одной из основных их постоянных, к сожалению, столь недостаточно обращающей на себя внимание биологов.

Третьей задачей является количественное определение *геохимической энергии* живых веществ, той ее наибольшей и главнейшей части, которая связана с их способностью к размножению. Она определяет ту силу, с которой организмы своей жизнью возбуждают в окружающей среде миграцию атомов этой среды. Эта миграция находится в теснейшей связи с средним химическим составом организмов и имеет разное значение для разных химических элементов среды. Эта задача в конце концов сводится на определение величины Δ и ν , причем первое определяет темп размножения, а последнее дает меру растекания по земной поверхности геохимической энергии данного животного или растительного вида благодаря его размножению [11. С. 30 и сл.; 41 и 45].

И наконец, четвертой задачей является определение радиоактивных элементов в живых организмах. Эта задача должна быть отдалена от обычного химического анализа не только потому, что она связана с особой методикой работы. Она вводит нас и по существу в новый круг явлений в области жизни, так как сводится к измерению не только массы, но и энергии, отличной от той химической ее формы, к которой приводит определение химического состава организмов.

IV

Мы будем помещать наши работы по определению химического состава организмов без всякой системы, по мере их окончания.

Нашей основной задачей является определение химического состава организмов групп животного и растительного царств, причем на первое место выступают организмы, играющие важную роль в строении биосферы. Вопросы [организованности] биосферы, [в основном] геохимические, выступают на первый план, но мы стараемся всюду, где возможно, останавливаться и на вопросах чисто биологических. Очень часто трудно провести резкую границу между этими двумя исканиями.

Особое значение приобретают методические вопросы, так как при самом начале стало ясным, что старые методы анализа, приспособленного к другим задачам в области новых явлений, нами изучаемых, или в области старых тем, но по-новому нами охватываемых, – недостаточны.

V

Я остановлюсь на вопросах методических и на условиях выбора материала для исследования в дальнейшем, при обсуждении общих химических анализов живого вещества. Здесь же я считаю необходимым остановиться на более общих положениях, лежащих в основе всех наблюдений.

В биогеохимических явлениях мы имеем дело с *совокупностью организмов. Однородным живым веществом* называется совокупность особей одного и того же вида, подвида, расы и т.п. Во всем дальнейшем изложении мы будем иметь дело главным образом, как увидим ниже, с видовым (или расовым) однородным живым веществом. Соответственно совокупность организмов разных видов или рас будет называться *неоднородным живым веществом* [1].

Мы будем различать и определять и однородные и неоднородные живые вещества только по их химическому составу, по их весу и по их геохимической энергии.

Все эти данные должны быть выражены количественно и отнесены к единой особи, совокупность которых составляет живое вещество.

Мы имеем, таким образом, дело со средним химическим элементарным составом, средним весом и средней геохимической энергией живого вещества, отнесенными к средней особи, совокупность которых оно составляет.

Очевидно, всегда можно разложить неоднородное живое вещество на составляющие его однородные живые вещества. Это обычный прием биологов, разлагающих для научной работы биоценозы – сообщества и тому подобные сложные части живой природы – на виды и подвиды.

VI

[Совокупность всех живых организмов биосферы данного момента – *живое вещество биосферы* – может быть разложено на слагающие его составные части – виды, роды или другие таксономические подразделения, число которых для видов превышает сейчас 800 000 и которые отвечают, например, буквенным символам $A, B, C - a, b, c, - \alpha, \beta, \gamma$ и т.д. Они могут быть количест-

венно охарактеризованы для каждого разным химическим элементарным составом, весом, геохимической энергией и состоянием пространства, отвечающего объему организма.

Схематически это может быть выражено уравнением:

$$\Sigma \mathcal{J} = SA + S_1 B + S_2 C + \dots S_n \Theta,$$

где \mathcal{J} – живое вещество биосферы (живая природа), выраженное в частях 1 или 100 (процентах) разных для каждого однородного живого вещества в зависимости от их распространенности коэффициентах. A, B, C, \dots отвечает однородному живому веществу живых организмов биосферы¹.

При этом величины S, S_1, S_2, S_3, \dots (дроби или проценты) расположены в убывающем порядке.

Так может быть представлена или вся живая природа в целом – все живое вещество биосферы – или любая его часть. Конечной задачей является такое числовое выражение всего живого вещества биосферы.

Но это – даже в первом подходе – далекая цель научной работы, требующая работы поколений. Однако другого пути нет в биогеохимических проблемах, как его нет и в проблемах биологических.

VII

Необходимо при этом прежде всего точно уяснить себе, в каких пределах возможно заменить в толковании живой природы морфологические группировки (виды, роды и т.п.) однородными живыми веществами и какие при этом возникают новые точки зрения и новые проблемы.

В геохимии мы должны исходить не от отдельных неделимых, как это имеет место в основных проблемах биологии, но от совокупностей организмов, совокупностей, действительно существующих в биосфере, т.е. из изучения биоценозов, популяций, сообществ, фаун, флор и т.п. во всем их кажущемся бесконечном разнообразии.

Нам важен их химический состав, т.е. производимая ими определенная, в каждом случае различная, миграция химических элементов.

В биосфере встречаются в виде биоценозов² как однородные живые вещества (большей частью почти чистые, почти однородные), так чаще разнородные. Как ни велико число таких биоценозов, оно явно ограничено, – и задача их полного химического изучения отнюдь не является утопической.

VIII

В современной биосфере выдвигаются совокупности не только тех морфологических форм, которые извечно наблюдались в биосфере и существовали в ней, эволюционно изменяясь в течение всех геологических периодов. Под влиянием жизнедеятельности человека за последние тысячелетия струк-

¹ В 1930 г. мною эта схема была выражена очень неудачно, и я не мог по условиям печатания ее уточнить.

² Я буду употреблять это выражение в самом широком понимании. *Биоценоз* есть всякая естественная совокупность, территориально выделяемая, каких бы то ни было организмов в биосфере.

тура живой природы претерпела чрезвычайные изменения. Наряду с естественными видами в состав ее вошли многочисленные новые культурные расы, созданные человеком. Эти расы дают *расовые однородные вещества*, и их должны различать в окружающей нас природе наравне с видовыми однородными веществами.

Эти расовые культурные однородные вещества непрерывно охватывают все большую и большую часть живой природы. И по массе они все увеличиваются, и в больших областях суши, на многих островах уже резко преобладают над живой природой, состоящей из естественных видов. Этот процесс явно ускоряется, и можно учесть то время, когда расовая живая природа явится преобладающей на нашей планете.

В настоящее время почти вся площадь суши охвачена или сообществами, состоящими из культурных растений и животных, или изменена под их влиянием.

Растет главным образом масса отвечающего им живого вещества, но не его разнообразие. Этим живая природа нашей¹ эры резко отличается от всех геологических эпох, начиная от археозоя.

При химическом ее изучении возникает проблема основного значения: изменилась ли и как изменилась биогенная миграция химических элементов суши в биосфере под влиянием замены культурными расами естественных, не зависимых от *Homo sapiens faber* морфологических форм жизни – естественных видов, подвидов и т.п.?

Химический анализ культурных биоценозов по сравнению с естественными биоценозами даст нам данные для решения этой проблемы.

IX

С геохимической точки зрения далеко не все морфологические подразделения организмов имеют одинаковое значение. В биоценозах основным конечным элементом, определяющим их морфологическую структуру, является *линнеевский вид* (линнеон), в последнее время часто *подвид*. Процессами, имеющими место в биоценозах, линнеевский вид (resp. подвид) не разлагается на те более простые элементарные виды, из совокупности которых он часто, может быть, обычно слагается.

В связи с этим видовое однородное живое вещество, совокупность которого слагает живую природу, изучаемую геохимически, отвечает линнеевскому виду (или соответственно подвиду).

Более дробные деления – жордановские (элементарные) виды (жордановы) и чистые линии – не могут сохраняться и проявляться в окружающей нас природе.

Их может в ней проявлять только усилие, мысль и работа человека. Человек должен непрерывно производить работу для того, чтобы эти виды могли выжить в живой природе биосферы, чтобы они не погибли или не перешли в линнеевские виды.

Обычно в биоценозах мы можем наблюдать миграцию атомов только путем изучения геохимического суммарного эффекта линнеевского вида.

¹ Было в 1929 г. напечатано «кайнозойской».

Однако биологический интерес познания химизма этих дробных морфологических делений организмов очень велик.

Он не может не интересовать и геохимика. Возможно, например, что изучение химического состава чистых линий или жордановских видов («элементарных» видов – общее) даст возможность уточнить колебания сложного состава линнеевских видов¹, углубить научный анализ этого состава. Но эти и многие другие вопросы в полной мере могут быть охвачены лишь при наличии химической изученности линнеевских видов.

Колебания состава линнеевского вида могут происходить не только от действительных колебаний этого состава, связанных с различием среды, – они могут еще происходить и от изменения в нем количества разных слагающих его компонентов (элементарных видов), происходящего тоже под влиянием среды.

Это одна из многих проблем (уже проблема геохимическая), связанных с элементарными видами. Ясно, что знание их химического состава имеет значение, и может быть очень большое, как для биолога, так и для геохимика.

Химический анализ этих наиболее морфологически простых форм живых организмов заслуживает поэтому уже сейчас внимания и может быть займет в будущем большое место в биогеохимической работе. Но на первое время при начале работы мы оставим их в стороне, и наше внимание обратится на линнеевские виды, в которых обычно научно выражается окружающая живая природа.

Х

Более крупные морфологические подразделения животного или растительного царств – виды, семейства и т.п. едва ли имеют прямой интерес для познания геохимических явлений *современной биосферы*.

Мы не видим обычно никакого их яркого проявления в биоценозах, которые мы кладем в основу нашей работы. Так, виды одного рода обычно не входят в один и тот же биоценоз; близкие виды одного рода даже замещают друг друга в разных местностях, например в разных флорах или фаунах и отвечающих им биоценозах. Нахождение нескольких видов одного рода в одном и том же биоценозе или сообществе всегда указывает на древность их образования или на особые условия окружающей биоценоз или сообщество среды.

Тем не менее нельзя считать а priori валовой химический анализ рода отвлекенной фикцией, ненужной датой для познания современной биосферы среди числовых биологических констант.

Правда, геохимическое значение родового живого вещества иное, чем видового живого вещества. Но именно благодаря этому его химический анализ может, по-видимому, вскрыть новые черты в строении биосферы.

Однако в настоящее время существуют большие трудности его химического изучения. И прежде всего неясно, как получить химический состав родового живого однородного вещества? Надо ли брать для этого *все* виды, сла-

¹ Нельзя не обратить внимания на формально-логическое сходство элементарных видов или чистых линий с изотопами. Такие формальные сходства (неправильно приравниваемые к аналогиям) указывают обычно на сходство *форм* (или математических выражений), отвечающих обоим явлениям законностей.

гающие род, и в каких количествах – одинаковых или пропорциональных их распространенности или их весу? Сейчас мы не умеем ответить на этот вопрос.

Род в окружающей нас живой природе отражает ее палеонтологическое прошлое. Его можно изучать в ней лишь в аспекте геологического времени. Можно думать, что его химический анализ будет отвечать химическому составу *предка*, от которого произошли все виды рода. К этому вопросу – и к другим вопросам, связанным с делениями живой природы, еще более крупными, чем род, – я вернусь в другом месте.

В этом случае перед нами выдвигаются вопросы, связанные с геологическим прошлым явлений жизни. Однако геохимическое изучение этих крупных подразделений – родов – животного и растительного царств поднимает и другие вопросы. Так, в группе млекопитающих – в отделах плацентарных и сумчатых – одинаково мы наблюдаем хищных, травоядных, зерноядных, грызунов и т. п. Очевидно, химическое изучение этих групп – соответственных родов и даже видов – может дать результаты, выходящие за пределы вопросов химии прошлого живого мира. Оно даст понятие о химической структуре неоднородного живого вещества.

Очевидно, все эти вопросы – прежде всего из неизбежной для нас экономики научной работы – не могут являться предметом наших исканий немедленно. Это дело будущего.

XI

Таким образом, в основу нашей текущей химической работы сейчас выдвигается выяснение *среднего химического состава линнеевских видов (где возможно – подвидов) и культурных рас организмов*.

Этот средний химический состав с биологической точки зрения является *видовым признаком*, таким же, как те морфологические видовые признаки, которые определяют естественный вид, подвид, расу.

Таковыми же видовыми признаками должны являться и другие признаки однородного живого вещества (средний вес и средняя геохимическая энергия).

От других видовых признаков эти характеристики однородного живого вещества отличаются тем, что они являются *числами*. Но такими же числами выражаются и некоторые видовые морфологические признаки, например столь важные в диагностике видов *размеры* организмов.

Видовой характер среднего химического состава организма сейчас представляется биологам спорным. Этот спор может быть решен лишь *наблюдением и опытом*.

XII

Определенное решение этого вопроса является одной из первых задач нашей работы. Очевидно, лишь определенным образом поставленные анализы могут решить этот вопрос.

Если средний химический состав является видовым признаком, то колебания химического состава одного и того же вида из разных местностей, из разных биоценозов, разных лет должны происходить в узких определенных пределах, не превышающих вариаций его морфологических признаков.

По химическому анализу мы должны также иметь возможность *определить вид*, как мы можем его определить по колеблющимся морфологическим признакам.

С другой стороны, средний химический состав вида, чуждого данному, должен лежать вне пределов колебания состава хотя бы и близкого данному растительного или животного вида, и *мы по анализу должны иметь возможность различать два разных вида*, как мы различаем их по их морфологическим признакам.

Различия химического состава между родами и семействами должны быть больше, чем различия между химическим составом разных видов одного и того же рода.

И в то же время наиболее близкие между собой расы – чистые линии или элементарные виды – должны химически различаться друг от друга.

XIII

Эти выводы могут быть утверждены или отвергнуты только опытным путем – путем производства анализов. Только тогда и выдвинутся неизбежно новые вопросы и новые явления, тесно связанные с этим видовым признаком. Этот химический видовой признак представляется мне видовым признаком исключительной важности.

Он, с одной стороны, определяет в очень резкой, яркой количественной форме соотношение между *внешней средой и организмом* и, во-вторых, он по существу является *субстратом* всего анатомического и гистологического строения организма, так как от него зависят те соединения, которые могут образовываться в данном организме и которые строят его ткани. Если в общем протоплазматическое строение всех живых организмов придает им общие морфологические черты, едва ли может быть сомнение (хотя это и не прослежено) в том, что все морфологические различия обусловлены различными, особыми, только им свойственными молекулами, вырабатываемыми каждым организмом. Молекулы в конце концов опираются в своем различии на разный атомный состав организма.

Главное значение вводимых новых постоянных и для биологии заключается в том, что это видовое свойство легко может быть выражено в *числах* – причем числа эти для всех организмов принадлежат к одной категории, т.е. так выраженные видовые признаками разных организмов *могут быть количественно сравниваемы*.

XIV

Биология постоянно и очень быстро охватывается математическими понятиями и, в частности, численные величины приобретают в ней все большее и большее значение. Не говоря уже о физиологических явлениях, тесно связанных с физикой, проникновение в биологию физики и химии внесло число в область чисто биологических проблем. Области генетики и биометрики охватываются численными законностями и константами. Наконец, области экологии, биоценозов, гидробиологии в широком смысле этого понятия все больше и больше дают места численным соотношениям.

Особенно сильно внедрение числа в биологию идет в нашем столетии, увеличиваясь благодаря возникшим в жизни человечества новым прикладным биологическим проблемам – проблемам зоотехники, массового питания, агрономии, рыбного хозяйства, промыслового исследования океанов и морей и т.п.

Выдвижение числовых биогеохимических проблем идет как раз в уровень с этим научным движением. Число охватывает этим путем новые области биологии. Линнеевский вид может быть характеризован одними *числовыми постоянными* с той же точностью, с какой это достигается морфологическим диагнозом. Он может быть характеризован этим путем так же, как может быть характеризовано числами любое химическое соединение.

XV

Я вернусь к этому вопросу при издании наших первых анализов живого вещества, которые имеют [возможность] появиться в следующих выпусках Трудов Биогеохимической лаборатории. Очень желательно для возможно более точного и быстрого решения вопроса, чтобы были произведены химические анализы из возможно большего количества мест, в разные года и из разнообразных биоценозов, одних и тех же определенных видов растений и животных. Список видов, за которыми мы думаем следить, будет нами опубликован¹.

Несколько лет такой систематической работы позволяет точно ответить на вопрос как о значении химического состава для характеристики вида, так и о его постоянстве².

XVI

Числовые постоянные линнеевского вида, как все видовые признаки, колеблются в известных пределах. Эти колебания, конечно, несколько не уменьшают точности математического выражения вида. Определение их пределов только и может дать понятие о химическом составе живого вещества.

Необходимость, таких химических анализов для решения многочисленных проблем геохимии не возбуждает никаких сомнений, и на это мною многократно указывалось [11].

Но познание химического состава живых организмов имеет огромное значение и для биологии. Это значение прежде всего связано с проникновением в новые области биологии точных числовых представлений.

¹ Не ожидая этого списка, можно отметить, что очень важно сейчас же накопление анализов (и определение радиоактивности) по возможности из разных местностей, в разное время года возможно большего количества видов Lemnae (рясок). Организмы эти живут в воде, легко могут быть целиком выделены. Они обладают исключительной, по-видимому, для многоклеточных организмов геохимической энергией. Желательно обратить внимание на нахождение в них марганца, железа, алюминия. Все элементы, кроме С, О, Р, N – и то частью, – они получают из воды. Анализы рясок см. А. Виноградов [47]. Об их радиоактивности см. Б. Бруновский [46]. [Ввиду большого труда, который требуется для сбора рясок в связи с изучением их радиоактивности, мы заменяем их растением большего размера, родом Ceratophyllum. Но новые анализы Lemnae (оставляя в стороне Ra и MsTh) очень желательны, так же, как Ceratophyllum. Желательны определения Mn и Fe (количественно) в насекомых и т.д.]

² См. Труды Биохимической лаборатории, тт. I–V. 1930–1939.

Мы переживаем здесь новый случай вхождения математики – числа геометрического образа – в области науки, где их раньше не было. Такое проникновение всегда, как это показывает история науки, имело плодотворное значение для данной области знаний, открывало в ней новые горизонты, новые проблемы.

Как всякая наука, биология должна стремиться к возможно полному тематическому охвату свойственных ей законностей и фактов. Это основное условие ее дальнейших успехов, проникновения ее в новые области, сейчас ей недоступные. Биология неизбежно станет наукой в известной мере математической, как стала ею физика.

В этом огромное значение биогеохимических работ и для биологии, особенно в тех ее областях, в которых имеют место исследования совокупностей организмов – экологии, фитосоциологии, в географии растений и животных, во всех изучениях флоры и фауны с общей точки зрения, где давно необходимо подойти к количественному учету *массы* или *веса* составляющих их видов, а не только их числа. *Числовые соотношения между видами* должны отойти на второй план по сравнению с *весовыми соотношениями*, между составляющими живую природу (Ж) *компонентами из однородных живых веществ*.

Должны быть выдвинуты количественные данные о миграции химических элементов, вызванные их жизнью, и об интенсивности этой миграции. Такими количественными данными как раз являются средний химический состав однородного живого вещества и вычисленная для него – путем изучения его размножения – константа *v*.

Такие данные при современном уровне знаний могут быть наиболее просто получены для замкнутых водных бассейнов суши в гидробиологии и при изучении жизни океана¹.

XVII

Выражение видового признака в виде процентного весового химического элементарного состава, несомненно, является искусственным и не дает того образного – столь нужного – представления, какие дает морфологическое описание, например окраска, оперение, форма и строение цветка или плода, формы корней, листьев, форма головы, тела, их эмбриональное развитие и т.п.

Столь же искусственно – с этой точки зрения – и то выражение состава в процентном составе входящих в организм атомов, которое неизбежно должно войти в употребление при биогеохимических проблемах.

Но химический состав организма может быть выражен иначе, причем его значение, как реального проявления жизни организма, может быть сделано ясным.

¹ Нельзя не обратить внимания на работу молодого, базвременно погибшего талантливого натуралиста В.М. Будрика (1919) [48]. Эта работа была напечатана после его смерти в незаконченном виде. Он был одним из немногих, которые поняли, что живое вещество, живые организмы не только меняют состав озера, но входят как таковые в его химическое динамическое равновесие. При гидробиологическом анализе озера надо знать и принимать во внимание не только химический состав воды и грязи озера, его газовый режим, но и химический состав и массу его однородных живых веществ или его биоценоз. Масса была упущена и В.М. Будриком.

Средний химический состав организма может быть выражен в *виде количества химически различных атомов*, свойственных среднему неделимому данного организма. Он будет тогда показывать то количество атомов, которое биогеохимической энергией¹ может быть выделено организмом из окружающей среды и удержано им во время жизни в том особом термодинамическом – живом – поле, какое представляет собою в поле биосферы каждый организм.

Очевидно, эти числа являются характерными и постоянными не только для общего количества атомов, находящихся в среднем неделимом данного вида. Каждый химический элемент должен быть представлен в нем определенным различным числом атомов. При таком выражении химического состава едва ли может возникнуть сомнение в видовом характере этого числа атомов и в его глубоком значении для познания вида.

Я вернусь к этим числам в дальнейшем выпуске Трудов Биогеохимической лаборатории при обсуждении наших химических анализов. Здесь же, однако, надо отметить, что такое выражение химического состава может быть определено только при знании веса или объема организма.

Количество атомов для среднего организма должно быть отнесено к их среднему весу (resp. среднему объему), так как только целый организм является в биосфере особым атомным полем. Но такое определение атомного поля организма, может быть, представляет большие неудобства, так как размеры организмов чрезвычайно колеблются (в сотни тысяч раз) и определение среднего *неделимого* – и даже неделимого вообще – представляет иногда непреодолимые трудности.

Поэтому в будущем будет удобно дать для каждого организма количество атомов в одной и той же для всех единице объема, например в кубическом сантиметре. Заметим, что при этом, по мере уменьшения размеров организма, количество атомов в таком объеме будет увеличиваться. Такое обозначение химического состава упростит многочисленные вопросы, связанные с химизмом неоднородных живых веществ, с биоценозами, в тех случаях, когда трудно выделить в них неделимое, например *Zostera* в *Sphagnum*, в растениях с сильно развитыми корневищами и т.п.²

Я вернусь в другом месте к дальнейшему суждению об этом методе выражения состава и к связанным с ним законностям.

XVIII

Необходимость точного познания *среднего веса*, т.е. массы среднего организма, не только связана с указанной формой выражения химического состава.

Без знания среднего веса организма невозможно сейчас вести химический анализ организма. На это много раз нами указывалось, и определение среднего веса кладется нами в основу всех наших анализов.

¹ Было [1930] сказано: «силой жизни».

² Однако для познания отдельного *неделимого* очень, мне кажется, важно знать среднее количество атомов, его создающих, и наблюдаемые их максимумы и минимумы. Это числа, наиболее независимые от планетных условий. Важно знать их пределы на всем протяжении живого вещества. Множество научных проблем возникает при таком подходе к изучению организма и его среды.

Это число, конечно, важно и само по себе и является ярким *видовым признаком*. Прежде всего им определяется минимальное количество того вещества, анализ которого только и может дать понятие о химическом составе организма. Ибо, очевидно, организм представляет неразделимое целое, и части его имеют разный химический состав (например, раковина и тело моллюска). Поэтому для познания среднего состава организма необходимо делать анализ всего организма – всей той массы вещества, которая отвечает *живому организму*, например растение должно анализироваться с корнями, дождевой червь с содержимым желудка и т.п.

Для геохимических процессов живое вещество должно изучаться в том виде, в каком оно встречается в природе. Поэтому многие из тех учетов, которые делаются в биологии, например состава и веса растений без корней или организмов «голодных», без содержимого их желудка, не могут быть использованы в геохимических изысканиях. Едва ли правильны такие учеты и биологически.

XIX

Но, сверх того, с весом организма связаны два его свойства огромного и биологического и геохимического значения, свойства, выражаемые в числах и являющиеся не менее ярким и важным видовым признаком, чем вес. Это *объем* и *поверхность* среднего организма.

Эти данные почти *terra incognita* для огромного большинства живых организмов, а между тем с поверхностью организма связано – для целых семейств и классов организмов – их дыхание, их питание: она определяет био-генную миграцию химических элементов, связанную с этими жизненными функциями.

Получение этих численных данных является насущной научной задачей дня. Но здесь большею частью приходится идти по нетронутым путям, надо искать и вырабатывать методы работы. К этому все же придется приступить и неотложно.

XX

В составе организмов есть черты, резко отражающиеся на их весе. В-первых, в них всех более половины по весу составляет *вода*, примерно от 60 до 99,7%¹, и, во-вторых, остальные преобладающие, по весу элементы очень легкие: азот, углерод и т.д.

Точное и прямое определение воды ввиду ее преобладания во всех организмах² является первой и основной задачей. К сожалению, ее биохимические и физические функции в организме так сложны, что эта задача часто не разрешима при современном состоянии наших знаний. Приходится в таком

¹ Может быть, эти предельные цифры немного изменятся, но характер явления останется неизменным.

² В количестве воды есть резкий перерыв. В то время как в составе размножающихся организмов содержится ее всегда больше 60%, споры и семена никогда не содержат больше 20% (может быть, меньше), и пределы их колебаний в этом случае равны приблизительно 8–16%. Это формы латентной жизни, жизни без влияния на миграцию химических элементов окружающей организмы среды.

случае ограничиваться валовым определением водорода в живом организме, которое может быть сделано точно. Для кислорода нет прямых способов определения, и числа для него всегда получаются по разности.

Благодаря преобладанию воды удельный вес организмов не отличается резко от удельного веса слабых водных природных растворов и в действительности даже часто бывает менее удельного веса природной воды благодаря большему, чем в воде, количеству заключающихся в организме легких газов¹.

XXI

Тождественность удельных весов водных природных растворов в организме и преобладающее количество воды в составе огромного большинства организмов – ярко на каждом шагу выявляют значение *поверхностей* живого вещества в строении окружающей нас природы. Этим путем чрезвычайно увеличивается сила биогенной миграции атомов, так как поверхность организма, имея в виду беспозвоночных, растения, – ей пропорциональна. Многочисленные насекомые и травы могут быть рассматриваемы как небольшие капли воды с огромной поверхностью соприкосновения с биосферой.

Имея в виду, что 1 см³ воды весит 1 г, следует заключить, что более легкие по весу травы и насекомые, богатые водой, должны явно обладать огромной площадью, в сотни и больше раз превышающей поверхность равной им по весу и близкой по составу капли воды.

Это ясно видно из прилагаемых таблиц (табл. 1 – веса растений и табл. 2 – веса животных).

Они дают нам понятие о значении поверхности для живых существ. Поверхность 1 см³ воды в виде сферической капли равна 17,24 см²; это часто площадь одного листа для приведенных в таблицах растений.

XXII

Возвратимся к химическому составу организма. Очевидно, основная и первая задача наша здесь состоит в том, чтобы убедиться, что состав его постоянен, так же как постоянен другой какой-нибудь видовой признак.

Это утверждение мы неизбежно должны хотя бы а priori положить в основу изучения химического состава живой природы, биоценозов. Мы проверим его правильность, исходя из предположения о его существовании. А рпоп представляется для натуралиста аксиомой, что все морфологические свойства всякого природного тела, в том числе и живого организма, являются следствием его химического состава. Сохранение в разных биоценозах морфологических свойств организма почти неизменными или мало меняющимися заставляет думать, что составленные из этих организмов их совокупности, т. е. однородные живые вещества, будут мало меняться в своем химическом составе в разных биоценозах.

¹ Количество *газов* в организме сказывается очень заметно в их *весе*. Этим вносится новое усложнение в исчисление их химического состава, вызывающее новую методику работ. В первых анализах, которые нами сейчас производятся, мы сознательно оставляем это явление в стороне. Я вернусь к этому вопросу при толковании наших первых результатов.

Вес растений

Название [вида]	Местность и время сбора	Количество неделимых	Средний вес одного растения, г
Сем. Chrococcaceae *Aphanocapsa sp.	Остров Труханов у Киева, 9/VIII 1928	820	1,056
Сем. Characeae *Chara foetida	Рыбное озеро у Киева, 17/VIII 1928	400	1,141
Сем. Ricciaceae *Riccia fluitans	Там же, 2/VII 1928	300	0,005
Сем. Polytrichiaceae Polytrichum commune L.	Петергоф у Ленинграда, 20/VIII 1927	1623	0,244
Сем. Salviniaceae *Salvinia natans	Староселье у Киева, 18/VIII 1928	855	0,559
Сем. Lemnaceae *Lemna minor L.	Петергоф, 1926	400	0,003
» » »	Там же, 1927	400	0,002
» » »	» 1928	400	0,0025
*Lemna gibba L.	Окрестности Киева, 1928	1200	0,002
*Lemna polyrrhiza L.	Петергоф, 1926	400	0,005
» » »	Там же, 1927	400	0,004
» » »	» 1928	400	0,0036
Lemna trisulca L.	Киев, 1928	400	0,0031
Сем. Liliaceae Gagea minima Ker Gawl.	Петергоф, 5/VI 1927	520	0,623
Сем. Asparagaceae Majanthemum bifolium L.	Петергоф, 27/VI 1927	718	0,519
Сем. Cruciferae Draba nemorosa L.	Там же, 9/VI, 1927	700	0,288
Сем. Violaceae Viola uliginosa Bess.	Лисий Нос у Ленинграда, 6/VI 1927	200	0,645
» silvestris Lam. }	Петергоф, 6/ VI 1927	274	0,887
» palustris }		342	0,710
Сем. Caryophyllaceae Stellaria media (L.) Cyrill.	Там же, 25/VII 1927	431	0,7825
Сем. Leguminosae Trifolium arvense L.	Староселье, 12/VII 1927	1650	0,351
Сем. Campanulaceae Campanula rotundifolia L.	Старый Петергоф, 26/VII 1927	451	0,547
Сем. Scrofulariaceae Melampyrum nemorosum L.	Там же, 27/VII 1927	391	0,894
» pratense L.	» 2/VII 1927	966	0,622
Veronica officinalis L.	» 11–VII 1927	307	0,984
Сем. Primulaceae Trientalis europaea L.	» 22/ VII 1927	619	0,560

[Примечание.] Звездочкой отмечены растения без цветов. Числа получены Г. Бергман, А. Виноградовым, Ш. Каминской, К. Кунашевой, Н. Эльб.

Вес насекомых*

Вид насекомых	Местность и время сбора	Число экземпляров	Средний вес неделимых в г	
Пор. Orthoptera Сем. Acrididae Chorthippus parall То же	Окрестности Киева, 16/VIII–28/VIII 1928 Там же, 17/VIII–28/VIII 1928 Там же, 2/VIII–24/VIII 1928 » 15/VIII–28/VIII 1928 » 7/VIII–25/VIII 1928	4441	0,1225	
Dociostaurus crucigerus brevi Evers. То же		2823 3141 1972	0,216 0,094 0,221	
Oedipoda coerulescens L. » » » Chorthippus albomarginatus De Geer.		418 414 313 413	0,132 0,392 0,107 0,206	
Stenobotrus stigmaticus Ramb. Acrydium subulatum L. Aelopus thalassimus Fabr.		1439 1026 354	0,078 0,032 0,1515	
Пор. Odonata Сем. Aeschnidae Aeschna grandes L. Сем. Libellulidae Sympetrum sanguineum Müller		Петергоф, 15/VII 1927 Окрестности Киева, 13/VII–25/VII 1928 Староселье, 6/VII– 1/VIII 1928	102 4850 921	1,014 0,087 0,299
Leptetrum quadrimaculatum L. Пор. Hemiptera Сем. Notonectidae Notonecta glauca I.		Киев, 25/VII–19/VIII 1928	1163	0,150
Сем. Aphididae Aphis fabae Scopoli		Ват. гора, Киев, 6/VII– 18/VII 1928	1200	0,00047
Сем. Myodochidae Tropidothorax leucopterus Goere		Киев, 2/X 1928	1573	0,030
Пор. Lepidoptera Сем. Noctuidae Pieris brassicae (imago) » » (куколки) » » (гусеницы)		Петергоф, 15/VII–25/VII 1927	920 103 675	0,124 0,320 0,321
Пор. Coleoptera Сем. Scarabaeidae Cetonia aurata Fabr. Anoxia pilosa Fabr. Anisoplia segetum Herbst.		Староселье, 8/VII– 28/VII 1928 Там же, 6/VII–18/VII 1928 Бат. гора, Киев, 4/VII–9/VII 1928	487 1029 3505	0,422 0,562 0,0975

Таблица 2 (окончание)

Вид насекомых	Местность и время сбора	Число экземпляров	Средний вес неделимых в г
Anisoplia austriaca Herbst.	Белая Церковь, 27/VII 1928	1091	0,1952
Amphimallon solstitialis L.	Староселье, 8/VII–25/VII 1928	1165	0,2879
Сем. Vuprestidae			
Chalcophora mariana L.	Тетерево, Киев, 2/VII–9/VII 1928	584	0,6849
» » »		437	0,9290
Сем. Curculionidae			
Bothynoderes punctiventris Germ.	Мироново, 4/VII 1928	2660	0,1287
Сем. Chrysomelidae			
Cassid. nebulosa L.	Белая Церковь, 10/VIII 1928	6892	0,0204
Agilastica alni L. (imago)	Петергоф, 25/VIII 1927	400	0,0267
Agilastica alni L. (личинки)	Там же, 18/VIII 1927	200	0,0201
Пор. Diptera			
Сем. Brachycera			
Calliphora erythrocephala J. Macq. (личинки)	Петергоф, 4/VIII 1927	400	0,0291
Пор. Hymenoptera			
Сем. Formicidae			
Formica rufa L.	Там же, 2/VII–9/VII 1927	400	0,0118
» » »		300	0,0110
Сем. Apidae			
Apis mellifera L.	Киев, 29/УШ 1929	80	0,1235

* Те же наблюдатели, как и в первой таблице.

Надо думать, что порядки вариаций, которые будут наблюдаться, не будут отличаться от подобных изменений в этих условиях морфологических признаков.

Изучение биоценозов основано, таким образом, на положении, что *свойства неоднородного живого вещества могут быть точно и непрерываемо вычислены, если известны свойства и количества составляющих его однородных живых веществ*. Это положение есть в то же время и основная проблема, подлежащая выяснению. То или иное ее решение, очевидно, чрезвычайно отразится на ходе всей нашей работы и на ее методике.

XXIII

Среди подлежащих нашему изучению биоценозов очень большое значение имеют биоценозы, которые представляют чистые или почти чистые *однородные живые вещества*, т.е. те, которые почти сплошь состоят из особей одного и того же вида (или подвида).

С одной стороны, их изучение важно методологически для проверки только что указанного положения об относительном постоянстве химического состава вида, но, с другой стороны, оно важно само по себе, так как указывает на особые свойства тех видов, которые дают в биосфере участки однородного живого вещества.

Если исключить участки однородного живого вещества в биосфере, созданные культурой, например поля хлебных растений, то возможность появления других вызвана тем, что данный вид обладает – в условиях образования биоценоза – *максимальной геохимической энергией* по сравнению с другими, здесь находящимися организмами. Ибо только при этом условии он может один захватить всю площадь биоценоза. Поэтому с геохимической точки зрения изучение такого вида приобретает особое значение.

В действительности мы едва ли когда-нибудь наблюдаем в этих случаях совершенно чистое вещество, мы имеем дело лишь с чрезвычайным преобладанием A над $B + C + D...$

Но это не исключает основного положения. С таким преобладанием компонента A могут встречаться среди сотен тысяч и миллионов видов только такие, геохимическая энергия которых (величина v) может достигать в условиях живой природы очень большой величины. Благодаря этому все виды должны быть изучены в первую очередь.

XXIV

Легко убедиться, что в биосфере может существовать для одного и того же вида несколько различных форм однородных живых веществ. Так как эти выделения морфологически различны, то надо думать, что они будут и по химическому составу различны.

Чрезвычайно характерно для структуры живой природы то, что каждый вид дает или может давать в ней несколько морфологически – а следовательно и химически – различных форм однородного живого вещества.

Благодаря тесной зависимости роста и развития организма от годового цикла планеты, в ходе этого цикла в живой природе появляются одни и те же возрастные формы данного вида, подвида, расы. В биосфере благодаря этому могут появляться скопления разных *возрастных* однородных веществ, периодически сменяющихся с ходом времени. Но в ней, кроме возрастных, наблюдаются еще временами *половые* разности однородных живых веществ.

XXV

Разности возрастные в тех случаях, когда они связаны исключительно с *ростом*, встречаются для всех организмов и являются характерной чертой живой природы.

С возрастом связаны, однако, еще такие биоценозы, которые не могут сводиться к простой функции роста, а связаны с превращением организма в новые формы, превращениями, обычно очень резкими и морфологически очень отличными от исходных форм. Из них имеют геохимическое значение, т.е. встречаются в почти чистых биоценозах, однородные живые вещества, связанные *со сменой поколений и с метаморфозами организма*.

Можно, таким образом, различить три формы возрастных однородных живых веществ (и *resp.* биоценозов): собственно *возрастные*, *поколенные* и *метаморфозные*.

XXVI

При обычном *росте* процесс идет очень определенно: он выражается кривой веса, достигающей максимума и затем медленно спадающей без скачков и перерывов. В этом случае организм постепенно, с ходом времени, дает разные однородные живые вещества в разные стадии своего существования. Мы знаем, наблюдая например луга или поля или леса, что и морфологически и химически эти совокупности организмов меняются с возрастом, проходят разные стадии. Молодой и зрелый луг, лес разных возрастов, поле в зеленях, в цвету, спелое имеют и разный морфологический вид и, очевидно, разный химический состав. В живой природе эти явления периодически повторяются с годовым или многолетним циклом, с вращением планеты вокруг Солнца.

Очевидно, для полной химической характеристики какого-нибудь вида надо иметь его химические анализы, отвечающие всем этим стадиям. Не имея возможности следить за изменениями химического состава непрерывно, как это возможно, например, для веса, необходимо выбрать для анализа биологически важные периоды роста, например, для трав луга – времена цветения, созревания семян, первых молодых всходов.

Очевидно, как непрерывно идут морфологические изменения с возрастом, так непрерывно меняется и их химический состав, вероятно с резкими проявлениями во времена максимального изменения формы организма.

Для наших трав и деревьев ход химических изменений идет от состава зерна до зрелого организма. Он представляет с химической точки зрения замкнутый цикл:



Тот же цикл мы имеем для животных, не дающих метаморфоз и смены поколений, например для птиц:



XXVII

Совершенно иначе идет процесс при *метаморфозе* или при *смене поколений*. Типичным примером однородных живых веществ, связанных с метаморфозом, являются в биосфере насекомые, составляющие, по-видимому, и по весу главную массу животных организмов суши. Для гусениц или личинок,

куколок, imago морфологические различия чрезвычайно и происходят резко. Соответственно чрезвычайно резки и химические различия, поскольку они известны. Естественные однородные скопления насекомых, почти в видовом отношении чистых, являются одним из самых обычных явлений в окружающей нас природе.

Здесь переход из одной стадии жизни в другую совершается быстро, скачками, с ходом земного солнечного цикла, и повторяется неизменно сотни тысяч и миллионы лет.

Также скачками должны происходить и периодически повторяться химические изменения в биоценозах, в случаях, когда такие организмы в них преобладают.

Следующие анализы Г.Г. Бергман, хотя и неполные, это подтверждают (табл. 3).

Таблица 3

Метаморфоз насекомых

[Название] вида	Проценты (на живой организм)					Средний вес среднего живого организма, г
	H ₂ O	C	H	N	P	
<i>Pieris brassicae</i> L.						
Гусеница	84,34	7,79	10,15	1,56	0,17	0,3214
Куколка	78,65	9,41	10,33	2,26	0,18	0,3192
Бабочка	66,36	19,40	9,00	5,78	0,33	0,1236
<i>Rhagium indagator</i> L.						
Личинка	68,73	15,60	10,10	1,88	0,20	0,2500
Куколка	70,30	16,72	10,04	2,47	0,19	0,2350
Жук	59,40	21,68	9,70	3,52	0,29	0,1980
<i>Polistes gallica</i> L.						
Молодые личинки	76,69	11,17	10,32	2,31	0,185	0,1501
Взрослые личинки	73,43	13,32	10,27	2,36	0,175	0,1873
Куколки	74,41	12,44	10,24	2,82	0,205	0,1530
Осы	69,20	15,06	10,08	3,86	0,26	0,0908

XXVIII

Тот же характер имеет и смена поколений, очень ярко выраженная в водных, в морских в частности, организмах, но известная и на суше. Ее проявление в структуре биосферы – в однородных биоценозах является очень важной чертой ее строения.

Такие биоценозы – *поколенные однородные живые вещества* встречаются среди насекомых, ракообразных, гидроидов и т.д. В этих случаях нередко морфологические различия сменяющихся поколений чрезвычайно резки, и циклы длятся годами. И нет никакого сомнения, что так же будут резки изменения химического состава отвечающих им однородных живых веществ. Например ясно, что химический состав живых медуз или медузоидов резко отличен от колониальных форм – гидроидов.

Среди поколенных однородных веществ чрезвычайно характерна смена половых поколений бесполоыми (женскими особями), например наблюдаемая в биоценозах тлей или хермесов.

В биосфере *половые однородные живые вещества* выделяются и в другом виде, может быть в известной связи с этим же явлением, но, возможно, вне всякой зависимости от смены поколений.

Таковы, например, рощи пирамидальных тополей юга СССР или скопления *Elodea canadensis* европейских рек, состоящие исключительно из женских особей.

Всматриваясь в окружающую нас природу, мы увидим очень часто такие естественные скопления особей одного какого-нибудь пола. Они бесчисленно разнообразны, как бесчисленно разнообразна живая природа. Осенью в степях часты «лётые» пауков, состоящие из женских особей, например, описанные И. Хедсоном [49] в пампасах Аргентины. Д. Бэрс [50, с. 30] указывает в лесных прогалинах Центральной Америки рои самцов бабочек и т.п.

Чем бы это, несомненно закономерное, явление ни объяснялось, очевиден следующий вывод: для полного познания химического состава необходимы отдельные анализы мужских и женских (может быть, бесполоых?) разностей однородных живых веществ. Особи разного пола отличаются и морфологически и химически. Их химическое различие часто сказывается в образовании ими особых биоценозов в биосфере, т.е. особых миграций химических элементов.

XXX

Таким образом, мы видим, что для точной характеристики химического состава вида или подвида необходимо иметь несколько анализов в разные стадии жизни организма и его половых и иных разностей.

Это указывает, что и количество атомов, которое находится в каждом среднем неделимом (или в одной и той же единице объема), различно и неодинаково для разных химических элементов в одной и той же культурной расе или в одном и том же естественном виде. Оно закономерно меняется в течение жизни, и эта закономерность подлежит нашему изучению.

В конце концов и химические анализы и веса (resp объемы и поверхности) организмов требуют для полной характеристики *нескольких чисел*.

Единым числом для каждой расы и для каждого вида является третья числовая характеристика однородного живого вещества – его *геохимическая энергия в том случае, если она взята в своем максимальном проявлении*.

Однако эта форма выражения для геохимической энергии определяет только *предел*, которого может достигнуть для каждого вида или расы свойственная им реальная [*скорость заселения планеты*] (величина V)¹.

¹ Может быть, удобно отличать эту максимальную скорость большой буквой V .

В действительности в разных биоценозах величина V подвержена колебаниям. Мы знаем, что входящие в нее размеры организма и темп их размножения меняются и обычно не достигают максимальных размеров.

При изучении живой природы имеют огромное значение определенные *реальной существующей величины* V и сравнение ее как с возможным максимумом, так и с ее числами в разных биоценозах. Тут мы должны получить многочисленные числовые данные, которые позволят углубиться в механизм биоценозов.

Для величины V , характеризующей вид или расу, необходимо, таким образом, определить как максимальную ее величину, так и наблюдаемые в биосфере от нее отклонения. Для характеристики биоценозов эти последние даже важнее.

Одной из основных задач нашей работы является сейчас, наряду с определением среднего химического состава и среднего веса, определение [*скорости заселения планеты*] [11] как в ее максимальных проявлениях, так и в ее реальном выражении в разных биоценозах. Эти данные необходимо получить для возможно большего числа линнеевских видов и культурных рас.

Для константы геохимической энергии приходится начинать всю работу сначала. Наблюдений нет.

XXXI

В окружающей живой природе давно установилось равновесие, меняющееся чрезвычайно медленно. В девственной природе оно идет колебаниями, столь же мало заметными, как мало заметны вековые или долготлетние колебания и безвозвратные изменения климата.

Лишь вмешательство культурной работы человечества коренным образом изменило извечный ход динамических равновесий живой природы. Но и здесь, в конце концов относительно быстро, устанавливается нового рода устойчивое динамическое равновесие того же характера.

Каждый девственный или непосредственно не изменяемый человеком биоценоз может, таким образом, быть рассматриваем как устойчивая постоянная система биогенных миграций химических элементов, повторяющихся правильно периодически с годовым солнечным циклом.

При геохимическом изучении биоценозов, кроме указанных в предыдущих параграфах возрастных и половых однородных живых веществ, важно выделить взаимоотношения между разными однородными веществами биоценоза. И среди них методологически обращают на себя внимание *пищевые цепи*, значение которых давно учтено зоологами [34].

Эти пищевые цепи представляют характерную черту *водной жизни* (в природе они характерны для столь геохимически своеобразного океана). Их значение очень уменьшается в структуре биоценозов *суши*.

XXXII

Среди постоянных и неизменных черт биоценоза, повторяющихся в том же самом виде и в среднем с одинаковой интенсивностью, химически выдвигаются отношения между организмами, служащими один другому пищею.

Очевидно, как количественно, так и химически состав организма A , питающегося организмом B , находится в зависимости от количества и состава организма B . Эта зависимость может быть выражена математически¹.

Организм A определяется количественно в своем существовании организмом B . Можно сказать, что организмы A и B образуют *цепь* [генетически], связаны между собой. Для такого биоценоза мы имеем цепь²: $\rightarrow \dots B \rightarrow B \rightarrow A$.

Ясно, что нахождение количественных соотношений между членами таких цепей и химический анализ их состава являются основой биогеохимического познания биоценозов.

XXXIII

Конечно, состав организмов A , B , $C\dots$ различен, но, несомненно, между ними должна существовать связь.

Какие существуют правильности, определяющие эту связь? Этот вопрос может быть разрешен только эмпирически, с помощью систематических анализов.

Но уже теперь ясно, что для биогеохимических постоянных, определяющих геохимическую энергию организма, величина V должна быть наибольшей для первого звена цепи и уменьшаться по мере приближения к последнему звену, т.е.

$$V_D > V_C > V_B > V_A.$$

Каковы численные соотношения между скоростями передачи жизни звеньями цепи? Не выражаются ли они простыми или целыми числами? Это может быть выяснено только опытом.

XXXIV

Для всей живой природы, очевидно, основным первым звеном цепи всегда будут те или иные *зеленые растения*; для водных организмов огромную роль должен играть *планктон*, с существованием которого связана вся жизнь бассейнов – от мелких пресноводных, так особенно до больших водных бассейнов. Ярко выражено это для гидросферы – всемирного океана.

Химический анализ зеленого растительного мира и планктона должен быть поставлен на первую очередь нашей работы – наряду с анализом компонентов пищевых цепей и одноклеточных живых веществ, преобладающих в биоценозах³.

XXXV

Различный характер зеленого вещества суши и воды как раз обуславливает разное значение пищевых цепей живого вещества на суше и в водных бассейнах.

¹ Любопытно, что первые попытки были сделаны уже в историческом мемуаре А. Уоллеса в 1858 г. [51]. В последнее время вышла важная работа *Volterra* (вызвавшая целую литературу). Ср. также *A. Lotka*. I, с. 1925.

² На суше такое явление ярко дают паразиты и «сверхпаразиты» И. Шевырева.

³ Первый анализ планктона, сделанный в Биогеохимической лаборатории А.П. Виноградовым, напечатан в моей немецкой статье [52]. Сейчас в лаборатории поставлена систематическая работа над составом планктонов пресноводных, соленых и морских. Через несколько лет мы будем иметь точные числа для разных планктонов.

На суше по массе преобладает зеленая жизнь высших растений, между тем как в водных бассейнах господствуют микроскопические зеленые организмы с максимальной величиной V ; они являются могучими агентами миграции химических элементов.

Это объясняет чрезвычайное преобладание в водной среде животных организмов, отвечающих различным пищевым цепям.

XXXVI

Необходимо обратить внимание еще на следующий вопрос: насколько химический состав следует за колебаниями морфологической структуры видов, подвидов, рас? Может ли он быть для них столь же характерен, может ли позволять их отличать.

Его нельзя решить сегодня теоретически, дедуктивным путем. Единственный путь – систематически подвергнуть точному количественному анализу возможно большее количество видов или рас разных местностей, разных биоценозов, разных времен года. Для определения выбранных видов надо вести эту работу в течение нескольких лет.

Если различия между разными анализами не будут превосходить для данного вида наблюдаемых для них морфологических колебаний, можно будет считать доказанным, что средний количественный состав вида является таким же видовым признаком, каким являются его морфологические свойства.

Чрезвычайно желательно, чтобы эта работа, начатая и продолжающаяся в нашей Биогеохимической лаборатории, была проверена в других лабораториях, другими учеными¹.

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЙ ЖИЗНИ И НОВАЯ ФИЗИКА *

I

Переворот, совершающийся в нашем XX веке в физике, ставит в научном мышлении на очередь пересмотр основных биологических представлений. По-видимому, он впервые позволяет в чисто научной концепции мироздания поставить в Космосе на подобающее место явления жизни. Впервые в течение трех столетий вскрывается возможность преодолеть созданное ходом истории мысли глубочайшее противоречие между научно построенным Космосом и человеческой жизнью – между пониманием окружающего нас мира, связанным с человеческим сознанием, и его научным выражением. С XVI века это противоречие проникает всю нашу умственную жизнь и глубочайшим образом на каждом шагу нами ощущается. Его последствия неисчислимы.

¹ Результаты работ лаборатории печатаются в Трудах Биогеохимической лаборатории. До сих пор вышло пять томов (1930–1939). В печати 5 и 7 тома.

* Доклад, прочитанный в Московском обществе испытателей природы и в Ленинградском обществе естествоиспытателей. Впервые опубликовано в: *Gen. sci.*, v. 41, 1930. № 24. В дальнейшем опубликовано в: *Изв. АН СССР*. 7 сер. Отд. мат. и ест. наук. 1931. № 3. С. 403; *Биогеохим. очерки*. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 175—197.

Поэтому с вниманием и с вдумчивостью необходимо следить за ростом новой физики, ибо глубоки и разнообразны должны быть изменения, которые может внести в нашу жизнь преодоление противоречия с жизнью в той новой научной картине Космоса, которая выявляется из учений новой физики.

В не меньшей степени должен этот переворот отразиться на основном орудии научного мышления – на текущей научной работе, на психологии научных исследователей. Ибо, как мы увидим, и здесь создалось в течение последних столетий резкое несоответствие полученной научной картины Вселенной с тем научным трудом, который кладется в ее основу.

Перед нами совершается один из величайших процессов хода научного мышления, один из переломов векового человеческого сознания.

II

Наша научная картина Космоса получила свое начало впервые в эпоху Возрождения. В XVI столетии ярко выразил Джордано Бруно бесконечность Вселенной и то малое место, которое наше Солнце, не говоря уже о Земле, занимает в мироздании. Д. Бруно выразил ярче других то, что с разных сторон поднималось в это время в человеческом сознании. В действительности построение Д. Бруно не было научным достижением, но он сделал небывалые философские выводы из новых научных открытий – выводы, шедшие дальше того, что тогда было научно известно, выводы, оказавшиеся в согласии с дальнейшим развитием научного познания.

Все научное миропонимание коренным образом менялось. Разрушалась тысячелетняя традиция. Философские построения, исходящие из новых научных фактов и эмпирических обобщений, предвосхитили на несколько поколений то, к чему впоследствии пришла точная научная мысль.

Опираясь на телескоп, в течение немногих поколений выявилось новое научное понимание – чувство единой Вселенной. Коперник, Кеплер, Галилей, Ньютон в течение немногих десятков лет разорвали веками установившуюся связь между человеком и Вселенной.

Научная картина Вселенной, охваченная законами Ньютона, не оставила в ней места ни одному из проявлений жизни и вместе с тем она, казалось бы, достигла предельного научного совершенства.

Не только человек, не только все живое, но и вся наша планета потерялась в бесконечности Космоса. До тех пор и в научных, и в религиозных, и в философских, и в художественных построениях человек, а через него явления жизни занимали центральное положение в Космосе, – в конце XVII века эти представления исчезли из научных концепций мироздания.

Увеличивая мир до чрезвычайных размеров, новое научное мировоззрение в то же время низводило человека со всеми его интересами и достижениями – низводило все явления жизни – на положение ничтожной подробности в Космосе.

Казалось, чем дальше шел ход человеческой мысли, тем резче и ярче выступал такой чуждый живому, человеческой личности и его жизни, стихийно непонятный человеку научно строяемый Космос.

Непрерывно – после Ньютона – вне всяких философских и религиозных представлений, благодаря научному наблюдению окружающего все упрочнялась безжизненная картина Вселенной, охваченной научной мыслью.

Особенно усиливалось ее значение в эпохи крупных успехов звездной астрономии. Первой такой эпохой был конец XVIII – начало XIX века – эпоха В. Гершеля и его сестры Каролины Гершель, открывших нам новый мир и впервые выявивших правильность его строения, в частности существование бесчисленных туманностей, космических систем звезд.

Другую [такую эпоху] мы переживаем сейчас, в XX веке. Этот новый расцвет звездной астрономии создан главным образом благодаря, с одной стороны, новым могущественным методам наблюдения, развитым с небывалой силой американскими обсерваториями, а с другой стороны, – немедленному охвату научных наблюдений физикой. Астрофизические достижения нашей эпохи сливаются с новой физикой и все более проникаются ее построениями. Этим новые успехи звездной астрономии коренным образом отличают ее от научных обобщений Гиппарха, Птолемея, Браге, Гершеллей, Струве.

И в XVIII и в XX веках и из среды ученых и из среды образованных людей неизменно подымались голоса, указывавшие с тревогой на выясняемую этим путем ничтожность жизни, всех величайших человеческих исканий по сравнению с грандиозностью открывавшейся картины Космоса. В космогониях, которые явились следствием этих наблюдений, эти настроения находили себе выражение и оправдание. Еще недавно ярко выразил их английский астроном Д. Джинс в речах, обративших на себя общее внимание. Бренность и ничтожность жизни, ее случайность в Космосе, казалось, все более подтверждались успехами точного знания.

Но этот новый рост научной картины Вселенной, строящейся в старых рамках научной мысли, впервые встретился с другим, более глубоким течением научного миропонимания, коренным образом изменяющим эмпирически получаемую картину Космоса.

Не философский анализ и не религиозное чувство, но *научная мысль* начинает вносить поправки, освещать по-новому давно знакомую, чуждую человеческой жизни научную картину Космоса.

Основанная на астрофизических обобщениях и теориях, она меняется – неожиданно для современников – под влиянием глубочайшего переворота в основных построениях физики.

Поднимается новая волна нового научного построения Вселенной. И она ставит в новые рамки длящегося века жгучее противоречие.

III

До сих пор человек мог разрешать противоречия между своим сознанием мира и его научной картиной, только обращаясь к философии или к религии.

В течение ряда столетий человек, не мирящийся с тем, что и он сам и все живое – и все сознание, вся мысль и разум – все, для него самое высокое, ни в каких формах не отражается в научной картине Космоса, мог вносить поправку в даваемое наукой построение Космоса только из других областей духовной жизни человечества – из философии, религии и отчасти художественного творчества.

Оставаясь на почве чисто научного мировоззрения, он должен был мириться с чуждой жизни картиной Космоса и считать ошибкой и иллюзией

то значение, которое он неизменно в жизни придавал разуму, сознанию и всему живому, часть которого он сам составляет.

Так как в действительности научно нельзя было свести явления жизни на физико-химические явления, которые лежат в основе картины Космоса недавнего времени, в научной среде и в образованном обществе сильно было убеждение, что, рано ли, поздно ли, это будет достигнуто. Притом будет достигнуто без сколько-нибудь коренного изменения основ научно построенного мироздания. Эти основы представлялись незыблемыми.

Считали, что разум, сознание – высшие проявления жизни – наряду со всеми другими физиологическими процессами должны были быть сведены к тем физико-химическим процессам, которые вошли в построение Космоса. Принималось при этом, что все философские, художественные, религиозные проявления человеческого сознания всецело уложатся в рамки научного Ньютонова мироздания.

Философская мысль никогда не мирилась с таким представлением, и анализ философов и многих ученых, вдумывавшихся в основу своего знания, давно привел к убеждению, что это представление не вытекает из научного знания, а является в основе своей верой, исходящей из философских и даже метафизических представлений.

Философские, чуждые точному знанию, предпосылки лежат в основе и другой, противоположной научной, попытки выхода из противоречия – признания в явлениях жизни особых, чуждых окружающему миру сил или форм энергии или энтелехии.

Эти виталистические представления равным образом не могли прочно войти в научную мысль, так как корни их не лежат в эмпирическом точном материале научных фактов и научных обобщений, а внесены в науку ей чуждыми философскими построениями и изысканиями.

Исходя только из анализа основного содержания науки – научных фактов и на них построенных эмпирических обобщений, – опираясь только на них, ученый должен был признать, что нет реальных оснований для веры в то, что физико-химические явления Ньютоновой картины мироздания достаточно глубоки и широки, чтобы охватить явления жизни, и в то же время, что из этих явлений жизни нельзя из эмпирического материала вывести виталистические представления, которые бы дополнили картину мира.

В этом, помимо логического анализа основ научного знания и научно построенного мироздания, должно было убеждать и изучение истории научного знания за последние столетия.

В действительности за все протекшие века нет никакого успеха в объяснении жизни в схемах господствующего научного миропонимания. Между живым и неживым, косным веществом сохраняется та же пропасть, которая была во время Ньютона, и ни на шаг не подвинулся охват создания разума, логического мышления схемами и построениями физико-химических систем Ньютонова Космоса.

Ученый должен был или находить выход из противоречия в философской или в религиозной мысли или считать, что научное мироздание должно быть в основе перестроено, причем при выработке его должны войти в него явления жизни в отвечающих им научных фактах и эмпирических обобщениях наряду с другими выявленными реальной действительности.

Несмотря на широко распространенное убеждение в незыблемости научного представления нового времени о мироздании, несмотря на огромные успехи в его уточнении за последнее столетие, в основе своей оно не получило прочности и не являлось достаточно сильным, чтобы можно было считать, что то положение, которое занимает в нем живое, могло считаться доказанным, и чтобы ученый, стоя только на почве научного знания, должен был смириться в своей гордыне, покориться и признать бренность [55] и ничтожность жизни в Космосе.

Религиозная и философская мысль давала живому совсем другое положение в мироздании, и философские искания непрерывно росли за эти три столетия – и как росли – в направлении, противоположном научной картине мира, а в религиозных построениях непрерывно отпадали и отходили те их стороны, которые входили в столкновение с научным мышлением. И одновременно и в философии, и в религиозном творчестве, и в бытии человечества росло осознание явлений жизни, их огромного значения в Космосе.

Незаметно для современников ход истории научной мысли – на фоне этой окружающей духовной жизни человечества – все более и более подтачивал веру в возможность введения явлений жизни в научную картину мироздания без коренного ее изменения.

Больше того. Разрушение этой картины – в этом его направлении – стихийно подготавливалось новым явлением: ростом и структурой самой научной организации человечества.

Дело в следующем.

С ходом научной работы после блестящих успехов описательного естествознания в XVIII и XIX веках проникновение точных научных методов в область наук о человеке за те же века, место, занимаемое научной картиной Космоса в добытом человеком знании, *непрерывно уменьшается*. По существу картина Космоса строится только небольшой – пропорционально все меньшей и меньшей – частью ученых исследователей. Все большая часть упорной научной работы человечества теряет связь с научно строяемой картиной Вселенной.

За два с половиной века после Ньютоновых «Principia philosophiae naturalis» лик науки совершенно изменяется – создались целые науки, не существовавшие в его время, и подавляющее большинство этих новых наук связано с изучением жизни, и в частности, человечества.

Едва ли можно сомневаться, что много более девяти десятых ученых исследователей работает в областях знания, которые никакого отношения не имеют к той картине Космоса, которая считается результатом научной работы.

Они совершенно не заинтересованы в этой картине и с ней в течение своей научной деятельности не встречаются. Ее изменения в области их знания не сказываются. Они вполне без нее обходятся.

Это ясно видно из истории биологических наук, например XIX века. Теория эволюции видов, игравшая и играющая такую большую роль в концепциях последних 70 лет, да и во всей жизни человечества, не входит в научную картину Космоса, так как в последней нет места жизни.

История теории эволюции под этим углом зрения еще не написана, но она очень любопытна и представляется нам сейчас в ином виде, чем являлась в свое время людям, участвовавшим в ее создании. Она вызвала оживление эволюционных представлений в космологических построениях, но находилась в резком противоречии с физико-химическими исканиями в биологии. Ее согласованность с Ньютоновым Космосом, т.е. возможность ее сведения всецело на лежащие в основе этого Космоса физико-химические положения, все время представлялась сомнительной. Может быть более сомнительной во время Дарвина, чем в позднейшее время. Во всяком случае она могущественно влияла на научную мысль и отсутствовала в научной картине мироздания.

Сейчас мы стоим на повороте. И возможно, что неосознанный ход научной работы последних десятилетий шел в направлении, разрушавшем веру в возможность сведения явлений жизни к параметрам Ньютонова Космоса.

Бессознательно в психологии научных работников – частью благодаря успехам теории эволюции, как мы теперь видим, подготавливалась к этому почва.

Наука не есть абстрактная, самодовлеющая и имеющая свое независимое существование, сущность. Это есть создание человеческой жизни, существует только в этой жизни. Ее содержание не ограничивается научными теориями, гипотезами, моделями, создаваемой ими картиной мира: в основе она главным образом состоит из научных фактов и их эмпирических обобщений, и главным – живым – содержанием является в ней научная работа живых людей.

Эти живые люди – научные работники – и составляют науку в общественном ее проявлении: их настроение – их мастерство, их уровень понимания и удовлетворения сделанным, их воля – общественное всемирное научное мнение – есть один из основных факторов исторического хода научного знания.

Наука есть сложное социальное создание человечества, единственное и ни с чем не сравнимое, ибо больше, чем литература и искусство, она носит всемирный характер, слабо связана с формами государственной и общественной жизни. Это социальное всечеловеческое образование, ибо в основе ее лежит *для всех равно обязательная сила научных фактов и обобщений.*

Ничего подобного нет ни в какой другой духовной области человеческой жизни.

Наука прежде всего состоит из живых людей, этой всеобщностью связанных. Поэтому совершенно не безразлично, если теоретически основной результат ее работы явится чуждым и не связанным с научной работой подавляющего большинства строящих науку живых мыслящих личностей.

Это мы видим в наше время. *Огромное, подавляющее содержание научной работы не отражается на научной картине природы.*

Такое положение может существовать только потому, что еще держится вера в то, что научная работа ученых будет в конце концов, с ходом времени, связана с современной научной картиной мира и ей не окажется противоречащей. Этого ждут многие, занимаясь своими специальными работами и не заботясь о будущем. Если вера исчезнет, противоречие между содержанием науки и результатом ее работы станет перед исследователями и потребует решений.

Ученые в целом не могут примириться с религиозным и философским разрешением противоречия. Они будут искать разрешения научного.

Наука едина и все без исключения области ее ведения теснейшим образом между собою связаны. Это эмпирическое обобщение столь прочное, что оно не может быть изменено волей отдельных личностей.

Больше того. Если брать сравнение из другой области человеческой жизни, можно сказать, что наука глубоко демократична. Все идущие в ней работы по сути равноценны, ибо *sub specie aeternitatis* нет в ней важного и не важного, все ведут к одной и той же единой научной истине – к единому, всем обязательному научному пониманию окружающего.

Это убеждение глубочайшим образом стихийно охватывает всех научных работников без исключения. Но наличие веры в то, что научная работа, которая ведется большинством научных исследователей, что явления, связанные с изучением жизни, войдут в конце концов в научную картину мира без ее коренного изменения, в картину мира, построенную без их участия, — неизбежно стремится придавать в научном общественном мнении разную ценность разным областям научного знания.

Это ведет к резкой неустойчивости в научной организации человечества. Не может явиться прочным не раз высказанное, но никогда живым образом не охватывавшее научную среду признание примата, по существу, наук математических, астрономических, физико-химических, только одних, влияющих сейчас на понимание основ современной картины мира – пространства, времени, материи, энергии. Не может потому, что все увеличивается в научной среде количество научных работников, связанных с изучением явлений жизни, что результаты их научной работы все ярче влияют на научную мысль, что реальная ценность в научной мысли их работы нередко больше, чем ценность построений научной картины Космоса. Поучительна с этой точки зрения история эволюционных идей с середины прошлого столетия, на которую уже я указывал.

Невольно зарождается сомнение, не позволяющее натуралистам мириться с приматом математических, астрономических и физико-химических наук, вытекающим из современного научного построения мироздания.

Два вывода неизбежно должны возбуждать сомнение натуралиста-эмпирика.

Действительно ли науки о жизни ничего не могут коренным образом изменить в основных представлениях научного мироздания, в представлениях о пространстве, времени, энергии, материи? И полон ли этот список основных элементов нашего научного мышления?

Может ли строго мыслящий натуралист признать, что в эволюции форм жизни разум *Homo sapiens faber* есть конечное, максимально возможное, окончательное проявление духовных достижений организованных существ? Или надо думать, что здесь на Земле в данное геологическое время перед нами развернулось только промежуточное выявление духовных возможностей жизни и что в Космосе где-нибудь существуют ее более высокие в этой области проявления?

Без отрицательного научного ответа на эти неизбежно возникающие вопросы – вера в реальность современной картины мира может охватывать лишь небольшое относительно число научных работников.

К тому же ученые не живут на уединенном острове. Кругом идет огромная творческая – и во многом плодотворная – работа человечества в других духовных областях человечества – в религии и особенно в философии, коренным образом противоречащая научному миропониманию, созданному в последние столетия.

Все это усиливает противоречие между научной работой и ее официальным основным результатом.

Сейчас в научной организации человечества нет необходимой устойчивости, и результат научной работы все более и более расходится с ее содержанием в сознании все растущего числа научных работников.

VI

Такое неустойчивое состояние основного орудия научного знания, раз оно сознается, долго продолжаться не может.

Это положение дел начинает быстро меняться за последнее десятилетие, благодаря новому крупнейшему событию – коренному изменению физических, частью астрономических наук.

Пространство, время, материя, энергия натуралиста 1930 г. отличны от пространства, времени, материи, энергии натуралиста 1900 г. Они не только отличны, но ясно, что они даже в резко измененном виде, в каком ныне принимаются, недостаточны для научного построения Космоса. В физику вдвигаются новые понятия, которые неизбежно обращают внимание физиков на явления жизни. Ибо оказывается, что в явлениях жизни последствия этих понятий выражены яснее и резче, чем в обычных объектах физических исследований. Очевидно, эти упущенные в научной картине мира черты – элементы – ее строения, меняющие ньютоновскую ее форму, могут быть поняты и изучены только введением в той или иной форме науки о жизни в картину мироздания.

Любопытно, что при этом в явлениях жизни выдвигаются на первое место черты жизни, которые мало привлекали внимание биологов.

Мне кажется, что благодаря этому ясным становится глубочайшее нарастающее изменение в самих науках о жизни под влияние кризиса¹ физики.

Прежде чем перейти к вопросу об основных концепциях жизни, сейчас требующих внимания и уточнения в связи с происходящим переломом в историческом ходе физических наук, я остановлюсь в немногих словах на характерных чертах этого перелома.

VII

Не имея, конечно, возможности здесь останавливаться сколько-нибудь полно на изменениях, происходящих на наших глазах в основных понятиях физики, я коснусь лишь немногих черт происходящего исторического процесса, тех, которые будут нужны при дальнейшем изложении.

¹ Слово «кризис» не выражает точно происходящего в физике изменения. Это не болезненный процесс в истории этой области знаний, а великий, здоровый перелом в понимании изучаемых в ней явлений. «Кризис» отвечает только чрезвычайно быстрому изменению основных понятий, быстрому успеху, взрыву научного творчества.

Основным является полное изменение представлений о пространстве, времени, тяготении, энергии, материи. Сила *всмирного тяготения*, действующая мгновенно на всяком значительном расстоянии, бесследно исчезает из наших представлений. Пространство и время не делимы, и для понимания физических явлений приходится геометрически пользоваться пространством не трех, а *четырех измерений*¹. *Граница между энергией и материей стирается*. Энергия распространяется строго определенными скачками – *квантами*.

Изменение воззрений и представлений происходит с чрезвычайной быстротой, полной неустойчивости. Еще в начале нашего столетия физики думали совершенно иначе, чем мы теперь. Я помню один из своих разговоров больше 20 лет назад с крупным русским физиком П.Н. Лебедевым, который говорил мне, что он с уверенностью может говорить только об *эфире*.

Это было в ту пору, когда в физику входило понятие электрона. Сейчас об эфире физики стараются не говорить, и некоторые сомневаются в его реальном существовании.

В то время – в начале столетия – казалось, что наряду с эфиром загорелась заря *динамических представлений* о материи и об энергии. Отдельные ученые – крупные исследователи с философским образованием, например В. Оствальд-отец, считали атомистическое представление о материи окончательно похороненным. Его пытались (например, Вальд) изгнать из химии. Оказалось, что современники не поняли шедшего при их участии процесса научного мышления. В два–три года *атомистическое представление* достигло небывалой высоты, стало господствующим.

И еще год или два тому назад не раз можно было встретить утверждение, что сейчас существование атома реально доказано и атомистическая теория материи уже не теория, а природное явление, которое возможно ощущать. Теория атома Резерфорда–Бора, казалось, окончательно царил. Это царство кончается. Сейчас атом начинает расплываться в нашем сознании, говорят о волнообразной теории материи, с одной стороны, а с другой – о невозможности в тех отделах физики, которые занимаются физикой атома – мельчайших частиц, сводить явления к движению точки. Чем точнее можно определить для этих явлений скорость частицы, тем менее точно можно определить ее геометрическое положение. *Механические законы движения точки* к этим явлениям с достаточной точностью быть приложены не могут.

В новой форме возрождаются древние динамические представления, так же далекие от старых, как далека атом физики XX века от атома Гассенди.

Изменение воззрений происходит с чрезвычайной быстротой и еще не установилось, но, вероятно, долго мы будем жить в том брожении идей, в каком находится физика. Именно оно будет влиять на окружающие науки.

В ньютоновой картине мира, царившей к началу нашего века, во всех физико-химических процессах, охваченных научной теорией, не было места *необратимым процессам*. Все природные процессы неизбежно признавались обратимыми. Это положение лежит в основе научного представления о Космосе XIX столетия. В тех случаях, когда они казались необратимыми, предполагали кажущуюся необратимость, допускали медленный – до абсур-

¹ Если считать время четвертым измерением.

да – ход обратимого процесса, позволяющий обычно более или менее удачно выходить из затруднений, создаваемых опытом и наблюдением. Сейчас необратимые процессы в физике получают иное место, вероятно, чрезвычайно значительное. Это допущение имеет огромное значение для проблем, нас занимающих. Из него еще не сделаны все выводы. Возможно, что в мире даже господствуют необратимые процессы, так как они как будто составляют сущность явлений в молекулярной физике, в физике микроскопических явлений, в явлениях теплоты и лучистой энергии света.

Не менее важно и другое явление – это деление на *законы статистические*, связывающие совокупности, и на законы, касающиеся свободных элементов физических процессов. Я уже упоминал об атомах, им отвечающих, и об особенностях применения к ним законов движения точки. Это явление, общее для всех процессов, идущих во внутреннем молекулярном, или, как теперь говорят, микроскопическом, строении мира, для областей, в которые никогда не могло проникнуть гипотетическое всемирное тяготение.

Здесь мы встречаемся со случаем, в котором как будто, а может быть и реально, перестает прилагаться в обычном понимании закон причинности. Этот закон – альфа и омега ньютоновой картины мира. Идею, лежащую в основе его, ярко выразил П.С. Лаплас, допуская возможность охватить Вселенную в одной формуле, решая которую можно вычислить и движение планет и течение мысли, движение тростника и изменение спиральной туманности. Такой *детерминизм исчезает для современной физики* для определенной категории физических явлений. Недаром некоторые физики увидели здесь не только аналогию с *индивидуумом биолога*, но явление той же логической категории. В космическую формула Лапласа в лучшем случае войдут непредвидимые в числовом отношении коэффициенты.

В природе нет великого и малого. Допустив в одном месте отклонение от приложения закона причинности, невозможность выразить все в законах движения, неизбежно приходим к тому же допущению в других случаях. Многочисленны и постоянны аналогии между бесконечно малыми мира молекул и огромными телами и пространствами звездной среды. Эту поправку необходимо всегда иметь в виду¹.

Новая физика в лице многих своих представителей приходит сейчас к положению, которое в корне подрывает представление о бесконечности Космоса, внесенное Д. Бруно в миропонимание нового времени. Начинает в новом облике входить в научные представления идея о возможной конечности Космоса, его ограниченности. Правда, размеры этого Космоса очень велики. Они не меньше объема, радиус которого равен 10^{17} – 10^{18} км, т.е. квинтиллионов километров, но важны не размеры, важно, что объем мира имеет предел, что

¹ Надо помнить, что научное представление о причинности, особенно в области наук о неорганическом, совсем не совпадает с философскими пониманиями причинности. Мне кажется, они прилагаются к современным утверждениям физиков только по недоразумению. Они слишком связаны с разным пониманием детерминизма, в частности с проблемой о свободе воли. С этой точки зрения очень любопытно сейчас прочесть сводку о детерминизме, например, в таких авторитетных обзорах проблемы, как философский словарь Эйслера в последнем издании. Натуралист найдет там мало для него нужного. Это один из случаев, когда ярко сказывается необходимость коренной переработки старых философских систем при столкновении с новыми успехами точного и описательного знания.

он конечен. И в этом их огромное значение. Мы становимся ближе к пониманию средневековья, к Данте, с его конечной Вселенной, чем к безграничному пространству ученых XVI–XIX столетий¹.

Изменение идет глубже. Мы явно подходим к *различию физического пространства от геометрического*. Учение о симметрии начинает проникать физику, так, например, можно только понимать ставшую на очередь задачу опытного изучения: одинаково ли, с одной ли скоростью распространяется свет по двум направлениям одной и той же линии?

Конечно, далеко не все из этих новых исканий и дерзаний удержатся в науке, но важно то, что старое Ньютоново представление о Вселенной дало трещину, его научная достоверность поколеблена и в открывающуюся трещину все быстрее и быстрее вторгается бесконечный, все расширяющий рой новых представлений.

То научное представление о Вселенной, основанное на всемирном тяготении и физико-химических явлениях, о которых говорили три столетия и к которым, думали, все должно быть сведено, – рушится.

Меняется – оказалась не отвечающей фактам – научная картина мира, основанная на всемирном тяготении, на возможности научно выразить все окружающее движением частиц, обратимыми процессами, строгой, заранее предвычисляемой определенностью. Индивидуальное входит в мир физических явлений.

Элементы Космоса, строящие его бытие в микроскопическом разрезе, может быть, имеют глубокие аналогии с индивидуумами – организмами жизни.

Порядок природы другой, чем думали. А тот, к которому думали свести все окружающее, оказался в корне слишком упрощенным и приблизительным [55].

VIII

Это коренное изменение основных физических представлений неизбежно должно резко отразиться на положении явлений жизни в научном мироздании, ибо целый ряд допущений новой физики нигде не выражен столь резко, как в явлениях жизни. Таков, например, необратимый – во времени – цикл жизненных явлений. Он характеризует живое в такой степени, в какой мы этого не видим в косной, окружающей нас природе. Необратимость видна в жизни отдельного неделимого, и для нас ярко выражается в его смерти. Необратимость не менее резко выражена в эволюционном процессе изменения видов в течение геологического времени. От альгонга до современности можем мы проследить единый необратимый процесс эволюции – определенное направление процесса в одну сторону.

Это знали, конечно, давно, но не обращали на это внимания, хотя сознавали его противоречие с утверждением о возможности свести явления жизни к физико-химическим процессам Ньютонова мировоззрения. Это очень обычное проявление неполноты логического анализа в области научного мышления. Оно может быть даже неизбежно при сложности Космоса и при слабости нашего научного аппарата, которым мы проникаем в неизвестное.

¹ См. новые представления Фридмана, Де-Ситтера и др. о пульсирующей Вселенной [55].

Явления жизни, явления радиоактивности, явления внутреннего строения звезд – вероятно наиболее яркие проявления необратимых процессов в окружающей природе. При этом наиболее резко этот тип процессов выражен в явлениях жизни.

И это яркое выражение в явлениях жизни несомненно физического явления космического порядка не есть случайное или единственное. То же мы увидим в свойствах пространства; оно же может быть отмечено для энергетических процессов, для свойств материи, строящей живые вещества.

Эти отражения жизни в основных понятиях порядка мира заставляют вводить явления жизни в мироздание новой физики. При этом, при единстве живого и жизни, мы не можем знать, где остановится проникновение научно строяемого Космоса явлениями, связанными с жизнью. Вероятно, будущее здесь чревато большими неожиданностями...

Надо к этому, кажется мне неизбежному, процессу подходить и с другой стороны, исходить из научных концепций жизни.

Необходимо обратить внимание на те явления жизни, вхождение которых в научное мироздание уже сейчас становится вероятным.

Мы подходим к очень ответственному времени – *к коренному изменению нашего научного мировоззрения.*

Это изменение по своим последствиям, вероятно, будет не меньшим, чем было в свое время создание Космоса, построенного на всемирном тяготении и на бесконечности времени и пространства, Космоса, проникнутого материей и энергией.

И оно, по-видимому, даст возможность *преодолеть то противоречие*, которое установилось между жизнью и научным творчеством, с одной стороны, и научно построенным Космосом, с другой, противоречие, проявившееся как раз в XVI–XIX веках, когда создавалось и росло Ньютонovo миропонимание. Это было, впрочем, Ньютонovo миропонимание без И. Ньютона, который вводил в него поправки верующего христианина.

По-видимому, сейчас открывается возможность преодолеть противоречие, оставаясь в пределах только научно познанного.

IX

Едва ли можно сомневаться, что в научной картине Вселенной жизнь предстанет перед нами в неожиданной форме, как являются в ней в ином виде, чем перед нашими органами чувств, явления, изучаемые в физике и в химии.

Остановимся на некоторых явлениях жизни, которые требуют сейчас внимания с точки зрения происходящего в физике изменения.

Я не биолог и сталкиваюсь с явлениями жизни с другой, менее привычной для биолога точки зрения, – с их воздействием на космическую среду их жизни. Это выражение – космическая среда – всегда, говоря о жизни, употреблял один из крупнейших биологов прошлого века К. Бернар. Он явно сознавал, что жизнь есть не мелкое земное, но есть космическое явление.

В этой области можно отметить ряд проявлений жизни, заслуживающих сейчас внимания, причем часть их носит планетный характер, связана с Зем-

лей, часть же явно выходит за пределы планетного бытия, указывает на более общее положение жизни в Космосе.

Среди планетных свойств жизни можно отметить:

1. Живое вещество создается и поддерживается на нашей планете космической энергией Солнца. Оно составляет на ней неразделимую часть земной коры¹ – биосферы, неразрывную часть ее [организованности].

2. Через живое вещество энергия Солнца постепенно передается в более глубокие части планеты, ее коры.

3. Количество вещества, охваченного жизнью в биосфере, есть величина постоянная или мало меняющаяся в течение геологического времени.

4. Живое вещество одинаковым образом в течение всего геологического времени входит в геохимические циклы химических элементов в земной коре, играя в них огромную роль. Этим путем живое вещество вносит в миграцию земных химических элементов определенную геохимическую энергию, в своем первоисточнике главным образом исходящую от Солнца.

5. Живое вещество находится в непрерывном химическом обмене с космической средой, его окружающей, но никогда в ней самопроизвольно не зарождается. Оно все в течение всего геологического времени представляет единое целое, генетически связанное, резко отдельное от космической среды.

6. Геохимическая биогенная энергия стремится в биосфере к максимальному проявлению (*первый биогеохимический принцип*).

7. При эволюции видов выживают те организмы, которые свою жизнь увеличивают биогенную геохимическую энергию (*второй биогеохимический принцип*).

8. При эволюции видов химический состав живого вещества остается постоянным, но увеличивается вносимая живым веществом в космическую среду биогенная геохимическая энергия.

9. С появлением – в согласии со вторым биогеохимическим принципом – в биосфере человека, благодаря его разуму, ход влияния жизни на нашу планету так увеличивается и меняется, что можно говорить об особой, психозойской, эпохе в истории нашей планеты, аналогичной по изменению, вносимому в живую природу Земли, другим геологическим эпохам – кембрийской или олигоцену и т.п. *С появлением на нашей планете одаренного разумом живого существа планета переходит в новую стадию своей истории. Биосфера переходит в ноосферу* [1939].

Больше того, мы, видимо, выходим за пределы планеты, так как все указывает, что действие – геохимическое – разума, жизни цивилизованного человечества не остановится размерами планеты.

Мы можем видеть в этом одно из тех проявлений жизни, которые, совершаясь в нашей планете, указывают на свойства живого, как будто с ней не связанные.

Сейчас среди таких более глубоких проявлений жизни надо отметить следующее.

1. Человеческий разум – и организованная им деятельность человека – меняет ход природных процессов в такой же степени, как меняют их другие известные нам проявления энергии, но меняет по-новому.

¹ Было «верхней геосферы».

2. Эта деятельность регулируется вторым биогеохимическим принципом, т.е. всегда стремится к максимальному проявлению.

3. Никогда не наблюдается образование живого организма из косной материи без участия другого живого организма (принцип Ф. Реди: необратимый процесс).

4. Организмы представляют собой автономные системы, создающие себе в космической среде объемы (термодинамические поля), обладающие особыми, отличными от средней, температурой и давлением.

5. Организмы могут жить как в среде молекулярных сил, чуждой законам тяготения, так и в среде, тяготением характеризуемой. Их минимальные размеры, достигая 10^{-6} см, заходят в область молекул.

6. Чем меньше организм, тем больше его геохимическая энергия, тем быстрее он создает новые организмы. Скорость этого создания (деление) имеет определенный предел. Назову ее *биологическим элементом времени*. К этому явлению я еще вернусь [55].

7. Жизнь организма представляет необратимый процесс и, рано ли, поздно ли, кончается для отдельного индивида смертью. Вся жизнь, проникающая биосферу, в целом является тоже необратимым процессом в течение геологического времени, в смене поколений; конца – и начала – этого процесса мы не видим, и возможно его нет.

8. В результате жизни происходит не уменьшение свободной энергии в космической среде, а ее увеличение. В этом отношении жизнь действует обратно правилу энтропии. Наряду с ней стоит очень немного других физических явлений в Космосе; таковы, например, радиоактивные тела. Но причина этого явления в живом веществе резко иная.

9. В отличие от свойств космической среды, термодинамическое поле живого организма обладает резко выраженной диссимметрией. Ничего аналогичного мы не знаем среди других природных объектов на Земле. Причем диссимметрия выражена как особым характером симметрии пространства, занятого живым веществом, – существованием в нем ярко выраженных энантиоморфных полярных векторов, – так особенно явным несоответствием – неравенством – между правым и левым характером явлений (обобщение Пастера) [3].

10. Деятельность организмов, по крайней мере в высших их формах, не является чисто механическим процессом, который может быть предвычислен. Она индивидуальна и различна в разных особях. Степень свободы действия нам не ясна, но она различна в каждом случае и ясно может быть всегда установлена.

X

Этот список далеко не полон, но из него ясно, что жизнь в Космосе проявляется в иных формах, чем она обычно рисуется биологу.

С точки зрения научной картины мира важно, что изучение жизни указывает на такие черты строения Космоса, которые в иных изучаемых наукой явлениях или совсем не выражаются или выражены слабо или неясно.

Уже одним этим ее изучение меняет научную картину Космоса, без нее построенную, и открывает в ней новые черты. Оно существенно меняет пред-

ставление о пространстве, о времени, об энергии и о других основных элементах мироздания.

Я остановлюсь на двух явлениях, которые позволят уяснить ее значение для научной картины мироздания, создаваемой новой физикой – на *диссимметрии вещества* живых организмов и на *биологическом времени*.

В первом случае мы имеем дело с новыми свойствами – с *особым состоянием физического пространства*, наблюдаемым в живых организмах, во втором – с новыми свойствами физического времени.

Диссимметрия живого вещества была открыта больше 80 лет назад – в 1848 г. – одним из величайших ученых прошлого столетия Л. Пастером, который вскоре уяснил все ее значение для научного миропонимания. Пастер осознал диссимметрию как космическое явление и сделал из этого чрезвычайно важные для понимания жизни выводы. Сейчас, в свете новой физики, его работы должны привлекать самое пристальное внимание. Он несколько раз возвращался к этим идеям, углубляя их все более и более. Он возвращался к ним в последний раз в связанной форме в 1883 г. – 46 лет тому назад – и перед смертью жалел, что не может к ним вернуться, углубиться в них экспериментом, считал это свое открытие самым важным делом своей жизни, самым глубоким подходом своего гения к проблемам знания.

Странна судьба этих идей. Основная идея, им выдвинутая, не вошла до сих пор в научное сознание, и в общем мнении химиков она даже признается в основе сомнительной.

Мне кажется, это связано с тем, что понятие диссимметрии, на которое опирался Л. Пастер, никогда не было принято во внимание химиками во всем его объеме и не было понято его современниками.

Глубокий анализ этого понятия был произведен уже после смерти Л. Пастера, через 46 лет после его открытия, другим гениальным французом – Пьером Кюри в 1894 г. Работы П. Кюри изложены исключительно сжато и могли казаться абстрактными, но основная его теорема – теорема о диссимметрии – не возбуждает никаких сомнений в своей правильности и ясна в своем конкретном значении для натуралиста. Она гласит: «Если какие-нибудь явления проявляют диссимметрию, та же диссимметрия должна существовать в причинах, которые эти явления вызвали». – Этот принцип П. Кюри решает спор бесповоротно в пользу Л. Пастера в той части его утверждений, которые заставляют искать причину диссимметрии природных тел в явлениях жизни.

Судьба работ П. Кюри была в этой области схожа с судьбой Пастера. Отвлеченный открытием радиоактивности, он вновь вернулся к работам над симметрией перед смертью, в 1906 г. – 23 года тому назад; судя по записям в дневнике, он при этом подошел к крупным обобщениям в этой области. После его гибели (он был раздавлен ломовым на улице Парижа) никто не поднял нити, им упущенной, в дальнейшем физическом анализе принципа симметрии, особенно возбуждающем сейчас наше внимание.

Путь, открытый Л. Пастером и П. Кюри, зарастает травой забвения. Мне кажется, как раз по нему должна сейчас пойти волна научной работы.

Шесть лет тому назад призывал химиков вернуться к этим идеям Л. Пастера выдающийся голландский химик Ф. Егер (F. Jaeger), глубоко охвативший явления симметрии. Его призыв встретил слабый отклик.

Рост научного знания с тех пор властно заставляет, однако, идти этим путем – вернуться к Л. Пастеру и к углубившему его идеи П. Кюри¹.

XI

Явления симметрии недостаточно до сих пор охвачены и научной и философской мыслью. Несомненно, это глубочайшее и основное понятие, проникающее – неосознанным образом – все наше миропонимание.

Переворот, совершающийся в физике, и неизбежный рост биологических идей, с этим связанный, ставят, мне кажется, на очередь углубление и уточнение учения о симметрии.

Самый глубокий (I) недоконченный охват учения о симметрии был сделан П. Кюри, который в сущности рассматривал симметрию, как состояние пространства, т. е. как структуру физического пространства.

Это определение должно быть сейчас учтено и при анализе физического времени, ибо в природных процессах пространство – время не делимы.

Можно философски и математически идти еще глубже в анализе учения о симметрии, но для нашей задачи, оставаясь в эмпирическом мире натуралиста, это широкое и чисто реальное понимание симметрии достаточно.

Явления симметрии обратили на себя в общем должное внимание физиков только в XX столетии, когда окончательно выяснилось огромное значение в области физических наук кристаллографии со всеми ее подразделениями.

С кристаллографией в физику вошло и учение о симметрии. Оно даже в самых математических своих частях было разработано – очень полно и глубоко – минералогами, всегда прежде всего имеющими в виду свои проблемы – проблемы кристаллографии. Для физики их достижения, как это доказал Кюри, явно недостаточны.

Недостаточны они в современной форме и для явлений жизни, исторически давших начало самому понятию симметрии. Ибо оно впервые зародилось при работе художника над живыми объектами. Первую формулировку понятия симметрии древние эллины приписывали скульптору Пифагору из Региона, жившему более 2400 лет тому назад, давшему ее в связи с задачей воспроизведения человеческого тела. И позже один из основоположников учения о симметрии в минералогии, оригинальный французский ученый А. Бравэ исходил в своих работах из симметрии, проявляющейся в растениях, и создавал учение о симметрии, одновременно исходя из растений, минералов и многогранников геометрии.

Но в то же самое время, как изучение природных кристаллов в свете учения о симметрии получило чрезвычайное развитие, применение симметрии

¹ В сущности, диссимметрия Л. Пастера является одним из первых глубоких научных охватов – числом и мерой – всем нам хорошо известного явления *правизны–левизны*. Это то проявление окружающего, которое не охвачено философской мыслью и упущено или мало затронуто физиками и геометрами. Правизну – левизну едва ли можно целиком охватить учением о симметрии. Пастер дал эту возможность для частного случая.

к объектам жизни, из которых оно возникло, и к физическим явлениям было все время спорадическим и несвязанным.

Это сказывается сейчас в постановке учения о симметрии в современной научной организации. Учение о симметрии обычно связано с преподаванием минералогии и близких наук и не занимает ни в физических ни в биологических дисциплинах подобающего ему места.

Это сказывается и в недостаточной точности тех представлений симметрии, которые для кристаллографии и минералогии не имеют большого значения, в частности в том понятии диссимметрии, значение которой для биологии было отмечено Л. Пастером, а в физике П. Кюри.

ХII

«Диссимметрией» называют разные явления, иногда, как, например, в живых телах, происходящие одновременно, но по существу между собою не связанные. Одно из этих явлений связано с учением о симметрии, а другое совершенно с ним не связано, но может научно изучаться пока только на основе симметрии.

Делая свое великое эмпирическое обобщение, Л. Пастер одновременно констатировал в состоянии пространства живых организмов оба эти явления.

Само понятие о симметрии в его эпоху не было нашим учением о симметрии. Хотя И. Гессель за 15 лет до Л. Пастера уже решил для кристаллов задачу симметрии в общей форме, но его работы не обратили на себя внимания и вошли в жизнь на 30 лет позже, много позже открытия Л. Пастера.

Пастер еще не объединял голоэдрию с гемиздрией, как мы это делаем, он не сознавал, что всегда оптические свойства и кристаллические свойства суть разные проявления одного и того же явления – явления симметрии, – как мы это принимаем. Он нашел эту связь в одном частном случае и по отношению к нему построил свою терминологию, не вошедшую позже в жизнь и даже в его собственной стране, во Франции, редко употребляемую. В расширенной форме мы встречаем ту же терминологию в более строгом ее понимании у П. Кюри, который этого не оговаривает.

Изучая кристаллические формы органических соединений, находящихся в организмах или из них выделенных, Л. Пастер заметил уменьшение их симметрии, появление левых и правых форм в тех случаях, когда рацемическое тело распалось на свои правые и левых антиподы. Он назвал это явление диссимметрией, т.е. нарушением симметрии, так как по отношению к многогранникам рацемического соединения нарушение их симметрии выражалось закономерным выпадением правых или левых площадок многогранников. Он заметил, что получаемые этим путем многогранники лишены центра и плоскостей симметрии, между тем как исходные многогранники рацемических соединений, распадением которых получают правые и левые антиподы, обладают и центром и плоскостями симметрии.

Одновременно он доказал, что в то время, как рацемические многогранники при растворении оптически инертны, их антиподы вращают в растворе свет, правые – вправо, левые – влево.

Оба эти явления он связал вместе, как явления диссимметрии, и так как ее проявление сохраняется в жидком состоянии, он назвал его молекулярной диссимметрией, ища объяснения явления в строении химической молекулы.

Я не имею здесь возможности излагать наше современное понимание открытого Л. Пастером явления. Но все же необходимо несколько на нем остановиться.

Мы сейчас знаем, что из 32 классов кристаллов в 13 может проявляться диссимметрия Л. Пастера; это те, которые не обладают центром и плоскостями симметрии, но обладают, кроме одного случая, осями симметрии, что они все в определенных векторах вращают плоскость поляризации света вправо или влево и дают правые в первом случае и левые во втором случае многогранники¹.

Мы знаем дальше, что эти свойства кристаллов выражаются винтовым правым или левым расположением их атомов, как этого требует и молекулярная диссимметрия Л. Пастера. Но она будет проявляться в растворах, в жидкостях – в вращении ими света – только в тех случаях, в каких в веществах, известных Пастеру, в химическом строении наблюдается так называемый ассимметрический углерод, все связи которого соединены с разными атомами или группами атомов. В формулах химиков «ассимметрический» углерод действительно может не обладать ни одним элементом симметрии в окружающем его пространстве, быть «ассимметричным». Но все пространство молекулы, в которой он находится, будет симметрично, в данном случае – обладать осями симметрии.

Пока мы остаемся в области явлений симметрии. Но одновременно, изучая явления диссимметрии в связи с живым веществом, Л. Пастер открыл новое явление, тоже связанное с уменьшением симметрии, т.е. с диссимметрией, которое лежит, однако, вне области явлений симметрии, ею объяснено и предвидено быть не может.

Он нашел, что вместо одновременно появляющихся двух антиподов – правых и левых – в *равном числе*, как этого требуют законы симметрии, выкристаллизовывается в некоторых случаях один какой-нибудь из антиподов, или один явно преобладает над другим.

Так как Л. Пастер вообще не знал, что часть нарушений симметрии – его диссимметрии – в действительности может быть выведена из законов симметрии, он не отделял это проявление диссимметрии от других, им открытых, говорил о них вместе, как об одном явлении; он, однако, заметил, что последнее явление исключительно связано с жизнью, тогда как первое может быть от нее независимым.

С физической точки зрения между этими двумя явлениями, названными диссимметрией, существует коренное различие. Первое связано с распреде-

¹ При *диссимметрии* количество правых и левых многогранников в данном теле (например, правого и левого аспарагина в данном виде (организмов) или случаев вращения плоскости поляризации света, в данном случае (например, правых и левых белков, в том же виде организмов или правой и левой эллиптической поляризации света в металлических покровах насекомых), правого и левого, будет не одинаково. При *симметрии* количество многогранников правых и левых (например, для кварца в одном и том же месторождении) или случаев вращения плоскости поляризации света, правой и левой (например эллиптической поляризации света от поверхности металла), будет одинаково.

лением предметов в пространстве, охватываемом учением о симметрии. Второе не связано с симметрией и является непредвидимым из нее *действительным ее нарушением*.

Принцип Кюри о том, что всякое явление, обладающее диссимметрией, должно происходить от причины, обладающей такой же диссимметрией, так широк, что он обнимает оба явления.

XIII

Прежде чем перейти к изложению достижений Л. Пастера, остановимся на вытекающем из диссимметрии характере пространства, его отличии от нашего пространства – [обычного] пространства физики и геометрии. Именно это пространство мы будем, согласно открытию Л. Пастера и согласно принципу Кюри, наблюдать всюду внутри организмов – внутри бактерии или внутри слона, например, – и некоторые свойства такого, скажем, энантиоморфного – правого или левого – пространства должны проявляться в окружающей организмы среде, благодаря их жизни.

Отличие такого пространства от обычного может быть ярко выражено изучением физических свойств проводимых в нем векторов, т.е. направлений.

Я указал уже, что явления жизни не обратимы во времени, т.е. с ходом времени всегда идут в одном направлении, в одну сторону, не возвращаясь назад. Организм растет, стареет, в конце концов умирает. Обратного явления нет, хотя в сказках и фантазиях человек это строил, а в некоторых случаях в живой природе признаки обратимого процесса могут быть констатированы, как это показал покойный талантливый русский зоолог Е. Шульц и недавно К.Н. Давыдов. Но не эти явления характеризуют и индивидуальную жизнь и эволюцию видов.

Геометрически время необратимого процесса может быть выражено в виде вектора AB , причем $AB (+)$ тождественно с $BA (-)$. Время такого процесса лишено по крайней мере центра симметрии (иногда неправильно физики говорят о его асимметричности). Тогда как для процесса обратимого $AB = BA$. Оба вектора сейчас здесь идентичны.

Мы можем выразить это явление, называя первые векторы *полярными*, а вторые – *изотропными*. Время в явлениях жизни геометрически выражается полярными векторами, а в множестве обычных физических явлений – изотропными.

В новой физике пространство и время не делимы, как не делимы они и в реальном мире натуралиста. В этом смысле идеи Эйнштейна ближе к научным концепциям натуралиста, чем идеи Ньютона, в которых в силу тяготения время не проявляется.

Этим объясняется та трудность, с которой проникла в научную среду теория Ньютона, потребовавшая 2–3 поколений для своего признания, и та быстрота, с которой она сейчас уходит с поля нашего зрения¹.

¹ Насколько глубоко проникло ньютоново миропредставление в своей научной части – разделения пространства и времени – в общее сознание, видно, например, в блестящих и глубоко интересных лекциях о природе физического мира Эддингтона. Эддингтон, излагая основные идеи новой физики, строил их на Вселенной Эйнштейна, в которой пространство и время не делимы. А между тем он допускал совершенно иную природу и роль физического времени

Полярные векторы должны, следовательно, характеризовать и пространство, т.е. объем, занятый телом организма.

Явления диссимметрии, характерные, по Пастеру, для этих тел, не только это подтверждают, но указывают, что эти полярные векторы должны быть к тому же энантиоморфными.

В них направление AB отлично от BA , но одновременно в окружающей вектор среде движение вправо и движение влево вокруг вектора может быть фактически различно. Можно отличать правые и левые векторы в зависимости от того, распределяются ли предметы или движения по правой или по левой винтовой линии по отношению к данному вектору. На одной линии между точками A и B различимы, таким образом, четыре вектора. Можно различить:

$AB (+)$	левый и правый
$BA (-)$	левый и правый

В случае, если будут преобладать в данном пространстве одни какие-нибудь векторы – правые или левые, – надо различать два разных пространства – левое и правое. Это то, что нашел Л. Пастер для явлений жизни. Можно и должно идти дальше.

Существует основное положение в учении о симметрии, которое указывает, что действительное строение пространства, где она проявляется, определяется наименьшей симметрией явлений, в нем наблюдаемых. Следовательно, в космическом пространстве, изучаемом физикой, не может быть центра симметрии – иначе не было бы в одном из ее явлений полярных векторов, но не может быть и плоскостей симметрии – иначе не было бы в другом явлении – в области жизни – энантиоморфных векторов.

Пространство – так же как и время – старой физики было изотропно: векторы в нем отвечали по свойствам простым линиям.

Пространство новой физики – анизотропное. В нем могут быть в крайнем случае только оси симметрии. Возможно, что оно вполне асимметрично, т.е. в нем нет никаких элементов симметрии. Свойства его, как целого, не будут в таком случае предвидеться учением о симметрии: все векторы могут быть и полярны и энантиоморфны и различны по числовым величинам для отдельных явлений природы.

Изучение физико-химических свойств поля жизни¹ дает в этом отношении самые точные и глубокие указания, каких не дает пока никакое другое физическое явление Космоса.

по сравнению с физическим пространством. И, допуская для времени двойную природу происхождения этого понятия – изучением окружающего и через внутренний опыт живого существа (человека), он не допускал того же двойственного характера для пространства, не сознавая, что оба эти явления не отделимы, как этого требует миропонимание Эйнштейна, и что оба одинаково заложены в особенностях пространства–времени живого существа. Непонятным образом он не принял во внимание достижений Пастера – особого состояния пространства жизни. (См. о проблеме времени и пространства и роли Ньютона в ее создании, мою статью [55].)

¹ Пространства, занятого телом организма.

Обратимся теперь к состоянию пространства, охваченного жизнью, как это выявлено открытиями Л. Пастера, до сих пор остающимися в этой области фундаментом наших знаний.

Замечу, что в биологии существует огромное количество наблюдений, относящихся к той же области и подтверждающих обобщения Пастера, но эти наблюдения разбросаны, не систематизированы и не охвачены синтезирующей мыслью. Я к этому еще вернусь, а теперь обратимся к открытию Л. Пастера.

Пастер с несомненностью установил своеобразную симметрию, «диссимметрическое строение» по его терминологии, – отсутствие центра и плоскостей симметрии для всех главных соединений, вырабатываемых организмами и связанных с организмами. Весь больше чем полустолетний опыт биохимии это вполне подтверждает.

Он назвал эту «диссимметрию» молекулярной, так как она проявляется не только в кристаллах, но и в жидкой фазе и в растворах. Она связана с винтовым распределением атомов в пространстве, согласно законам симметрии кристаллов. Так диссимметричны белки, жиры, углеводы, алкалоиды, углеводороды, сахара и т.п. Все без исключения тела, строящие зерна и яйца, так ярко «диссимметричны».

Нет ни единого случая среди природных неорганических соединений, неорганических минералов, которые проявляли бы такую же молекулярную диссимметрию, т.е. в жидком состоянии – в растворах – вращали бы плоскость поляризации света.

Вывод Л. Пастера о том, что молекулярная диссимметрия, характеризующая вещество живых организмов, не наблюдается в космической среде, ее окружающей, остается незыблемым. Мы знаем сейчас в этой среде только нефти¹, обладающие молекулярной диссимметрией, и не многие ею не обладающие минералы с винтовым распределением атомов в пространстве, например кристаллы кварца. Но среди минеральных, неорганических тел нет неравенства в числе антиподов. В одинаковом числе в каждом месторождении встречаются правые и левые кристаллы кварца.

Сперва Л. Пастер видел отличие для явлений жизни в молекулярном характере диссимметрии; связывал ее с распределением молекул в пространстве. Это отличие для нас сейчас исчезло: диссимметрия кварца связана тоже с винтовым распределением его атомов – кремния и кислорода – в пространстве.

Позже – и до сих пор – характер диссимметрии, открытой Л. Пастером, связывался с асимметрией атома углерода в молекуле соединения, установленной Лебелем и Вант-Гоффом. Но сейчас открыты в молекулах органических соединений и другие асимметричные атомы – Al, N и т.д.

Явление, по-видимому, связано с устойчивостью классов симметрии без центра и плоскости симметрии в определенных типах атомных полей². В природе мы наблюдаем это только в соединениях углерода, связанных с живыми организмами.

¹ Руайе доказал, что таковы же торфы, почвы, т.е., очевидно, органогенные образования, заключающие энантиоморфные соединения, биохимически образующиеся.

² Определенных кристаллических решетках.

Л. Пастер совершенно правильно заключил, что такое резкое различие между веществом живых организмов и косной материи должно быть теснейшим образом связано с основами проявления жизни и тех космических сил, под влиянием которых жизнь проявляется. Он говорит: «Если непосредственные создания жизни являются диссимметрическими, это только потому, что в их выработке участвовали диссимметрические космические силы; это, по моему мнению, одна из связей между жизнью на земной поверхности и Космосом, т.е. совокупностью сил, расположенных на Вселенной» [56, с. 395].

И еще: «Диссимметрию я вижу всюду распространенной в природе». «Есть только один случай, когда правые молекулы отличаются от левых, это тот, когда они подвергаются воздействиям диссимметрического порядка. Эти диссимметрические воздействия, может быть находящиеся под космическими влияниями, находятся ли они в свете, электричестве, в магнетизме, в теплоте? Имеют ли они отношение к вращению Земли, к электрическим токам, которыми физики объясняют земные магнитные полосы?» [57, с. 341].

«Какова может быть природа этих диссимметрических воздействий? Я думаю, что она космического порядка. Вселенная есть диссимметричная совокупность, и я уверен, что жизнь, в том ее проявлении, в котором мы ее видим, есть функция диссимметрии Вселенной или одно из последствий, которые ею вызываются... Движение солнечного света... диссимметричное?» [58, с. 361].

Чрезвычайно характерно, что в соединениях, связанных с жизнью, преобладает или исключительно существует один антипод. Другой совсем или почти совсем не появляется, хотя он может быть получен в лаборатории.

Замечу, что согласно принципу Кюри наш синтез совершается диссимметричной причиной, проявлением которой является разум и воля экспериментатора.

Пастер считал, что в живых организмах устойчивы только правые формы материи, т.е. что пространство, занятое жизнью, благоприятствует сохранению только этих молекулярных структур. Он считал, что в наиболее важном веществе организмов – в семенах и яйцах – наблюдаются, резко преобладают только правые антиподы.

В общем основное обобщение Л. Пастера – о неравенстве антиподов, мало, к сожалению, обратившее на себя внимание биохимиков, остается правильным, хотя правый или левый характер соединений – более сложное явление, чем это думал Л. Пастер.

Основным является устойчивость в поле жизни одного антипода и исчезание другого. Преобладание именно правого антипода не имеет сейчас никакого объяснения, [научно-гипотетически] не имеет его, впрочем, и устойчивость одного, а не обоих антиподов.

Л. Пастера неуклонно занимала эта проблема. Он говорил: «Для того, чтобы понять образование молекул исключительно одного порядка диссимметрии, достаточно допустить, что в момент своей группировки атомы элементов подвержены диссимметрическому влиянию, а так как все органические молекулы, которые создались при аналогичных условиях, идентичны, каково бы ни было их происхождение и место образования, это влияние должно быть всемирным. Оно должно охватывать земной шар» [56, с. 241].

Это явление кладет резкую грань между энантиоморфными формами, создаваемыми в термодинамическом поле жизни, и другими, появляющимися в окружающей жизни, космической среде.

Важно отметить, что единственная группа минералов, в которых наблюдается молекулярная диссимметрия, есть органогенная группа. Здесь мы наблюдаем: 1) происхождение нефтей метаморфизацией остатков живого вещества и 2) резкое преобладание нефтей с правым вращением. Нефти левые являются очень редкими.

Через 10 лет после своего обобщения Л. Пастер пошел дальше и установил новый факт в этой области, не менее важный. Это было в 1858 г. – 71 год назад. Он нашел, что живые организмы иначе относятся к правым и к левым антиподам. Они могут усваивать правые антиподы и не трогают левые. Несомненно, это факт огромного значения. Согласно принципу Кюри, он устанавливает – этим опытным путем – диссимметрию живущего организма. Л. Пастер это выявил для дрожжей и для плесневых грибов; позже нашли это для бактерий. Явление установлено таким образом для обеих форм жизни – для жизни в мире молекулярных явлений и для жизни в нашем мире тяготения.

На первый взгляд это объясняет, почему резко господствуют в продуктах жизни правые антиподы. В действительности никакого объяснения здесь нет, так как остается нетронутой основная проблема – отчего организмы усваивают только один антипод¹.

Отчего вещество организмов дает возможность вхождению в него правых антиподов и закрыто для левых?

Исходя из явления симметрии, Л. Пастер допускал возможность другой жизни с обратными антиподами – левыми в левом пространстве.

Если явление связано с состоянием пространства, занятого жизнью, то правым – по непонятной нам пока причине – должно быть все пространство Солнечной системы, может быть галактическое.

Глубоко сознавая огромное значение своего открытия Л. Пастер правильно утверждал, что он нашел несомненное доказательство, «что молекулярная диссимметрия, до сих пор свойственная («арапаге») исключительно продуктам, выработанным под влиянием жизни, может изменять физические и химические явления, свойственные организму» [59].

Идеи Л. Пастера не нашли отклика; факты, им полученные, не получили развития.

Мы ни на шаг не подвинулись за эти 80 лет по пути, проложенному Пастером, бессильно остановились перед загадками, им освещенными, хотя ясно огромное их значение и хотя ясна полная возможность экспериментального их исследования.

Это изучение важно не только для более полного понимания жизни, как это подчеркивал Л. Пастер, оно не менее важно для изучения состояния физического пространства вообще, ибо оно вскрывает его новые свойства, которые ни в одном другом физическом явлении не проявляются.

Уже одно реальное различие живым организмом физических и химических свойств среды жизни в связи со спиральным направлением энантиоморфных векторов представляет явление исключительного значения.

¹ Задача эта изучается сейчас в Биогеохимической лаборатории. См. статьи В. Гаузе [10].

Сейчас, в связи с созданием новой физики и с созданием новой картины Космоса, эмпирическое обобщение Л. Пастера приобретает чрезвычайный интерес. Из него вытекает ряд выводов, доступных опыту, на которых я здесь, однако, не могу останавливаться.

Необходимо подчеркнуть основной вывод: явления жизни позволяют здесь идти в изучении пространства Космоса так далеко, как это невозможно пока никаким другим путем. В этом проявляется космичность жизни. Это ясно видел Л. Пастер.

XV

В биологии давно известен многочисленный ряд других явлений, сюда относящихся, к сожалению не собранных и не охваченных систематической научной мыслью.

Еще в конце XVIII столетия на одно из них обратил внимание французский писатель и ученый, имевший громкое имя, оставивший глубокий след в чувствах и мыслях людей XVIII столетия, предшественник романтизма, на пороге прошлого века, Бернарден де Сен-Пьер¹. Он в своих этюдах «*Études de la Nature*» писал: «Очень замечательно, что все моря наполнены одностворчатыми раковинами бесчисленного множества видов, у которых все завитки направлены в ту же сторону, т.е. слева направо, подобно движению Земли, если поставить их отверстиями к северу и их острым концом к Земле. Лишь очень малое число видов составляют исключение... Их формы повернуты справа налево. Такое единое направление и столь своеобразное от него отклонение для некоторых раковин имеют, без сомнения, причины в природе и в эпохах неведомых веков, когда создавались их предки» («зародыши», как он говорит). Бернарден де Сен-Пьер – больше художник, чем ученый, как это не раз бывает, – в своем космическом чувстве природы верно охватил грандиозное явление жизни того же порядка, к которому больше 50 лет позже него подошел строгий экспериментатор Л. Пастер.

Мы здесь вступаем в огромную область фактов, не затронутых еще строгой научной мыслью.

Можно и должно выдвинуть, однако, сейчас же важные указания, возбуждающие нашу пытливость. И я не могу – хотя бы вскользь – некоторые из них не отметить. Так, во-первых, по-видимому, направление спиралей раковин одного и того же вида может меняться в течение геологического времени. Есть указание, что раковины всех *Fusus antiquus* из красного лежа Англии (нижнепермские) все левые, а современные – все правые. Если бы не было какой-нибудь причины – неизбежно диссимметричной, согласно принципу Кюри, — нарушающей симметрию, то существовало бы одинаковое количество правых и левых спиралей. Причина, вызывавшая это явление, менялась в течение геологического времени. Она была в данной местности энантиоморфной левой в пермское время и энантиоморфной правой в наше время. На возможность такого изменения пространства жизни указывает, по-видимому, и то, что в ряде случаев эмбрионы гастропод дают левые спирали, а взрослые формы – правые.

¹ Возможно, судя по биографии де Сен-Пьера, что он не является автором этой идеи, но я не встретил более раннего ее выражения. См. Lacroix [60].

Мы пока останавливаемся бессильно перед объяснением этого явления. Прежде всего необходимо его тщательное изучение и подтверждение. Явление, несомненно, очень сложное. Так, есть и сейчас виды моллюсков с левыми спиралями, хотя их число теряется при изучении всей их совокупности.

Больше того, указаны географические изменения. *Lonistes* в озере Танганайке имеет левые спирали, а тот же род из близких озер Ньяссы и Виктории – правые. Какая может быть причина этого явления? [3; 61].

Того же рода бесчисленные, не собранные воедино наблюдения разбросаны в литературе по отношению к окружающим нас другим спиральным формам растений и животных – к формам семян, цветов и т.д. Мы ясно здесь находимся в области явлений диссимметрии, тесно связанных с проблемами, затронутыми Пастером, но уже совсем не затронутыми теоретической мыслью.

Не исключена возможность, что здесь откроются или особые свойства связанного с жизнью пространства или особого рода в нем действующая диссимметрическая сила.

Дело настоящего и ближайшего будущего пойти по путям, которые здесь открываются.

XVI

По-видимому, не менее глубоко можно проникать в изучение физического времени путем исследования жизненных явлений.

Время физика, несомненно, не есть отвлеченное время математика или философа, и оно в разных явлениях проявляется в столь различных формах, что мы вынуждены это отмечать в нашем эмпирическом знании. Мы говорим об историческом, геологическом, космическом и т.п. временах. Удобно отличать биологическое время, в пределах которого проявляются жизненные явления.

Это биологическое время отвечает полутора–двум миллиардам лет, на протяжении которых нам известно на Земле существование биологических процессов, начиная с археозоя. Очень возможно, что эти годы связаны только с существованием нашей планеты, а не с действительностью жизни в Космосе. Мы сейчас ясно подходим к заключению, что длительность существования космических сил предельна, т.е. и здесь мы имеем дело с необратимым процессом. Насколько предельна жизнь в ее проявлении в Космосе, мы не знаем, так как наши знания о жизни в Космосе ничтожны. Возможно, что миллиарды лет отвечают земному планетному времени и составляют лишь малую часть биологического времени.

В пределах этого времени мы имеем необратимый процесс для жизни на Земле, выражающийся в эволюции видов.

С точки зрения времени, по-видимому, основным явлением должно быть признано проявление принципа Реди, т.е. *смена поколений* [1].

В этой смене поколений есть ряд явлений, доступных количественному изучению и дающих точное, математически учитываемое представление о строении того полярного вектора времени, который отвечает – геометрически – процессу эволюции.

К сожалению, относящиеся сюда научные факты разбросаны и не всегда точно установлены. Для тех постоянных, которые существуют для биологи-

ческого времени, можно сейчас дать только пределы чисел, но не самые числа. Но изменение представлений о положении жизни в Космосе действительно требует постановки систематических опытов и исследований в этом направлении.

Прежде всего бросается в глаза, что есть, несомненно, минимальный предел длительности чередования поколений. Предел определяет наименьшее время, потребное для создания нового организма, т.е. не только для создания его [организованности], но и всех тех сложнейших химических тел – белков и т.п., которые должны быть организмом воспроизведены. Очевидно, это явление закономерное.

В другом месте я пытался установить, что предел этот отвечает минимальной средней делимости одноклеточного организма и что он идет с такой интенсивностью, что достигает физически возможного предела.

Предел ставится не тем, что в короткое время смены поколений не могут образоваться бесчисленные сложные, нужные для жизни химические соединения тела организма и его механизмы, а свойствами физической среды и первым делом свойствами газов – дыханием организмов. Организм должен производить свой газовый обмен так, чтобы среда его жизни [длительно] не разрушалась, т.е. скорость распространения его геохимической энергии путем размножения (resp. смены поколений) не может превышать скорости звуковой волны газовой среды, которой дышит организм.

Достижение жизнью в действительности этого предела служит указанием на чрезвычайную интенсивность жизненного процесса, явно не связанного только со свойствами материальной среды.

Изучение этого предела стоит на очереди. Сколько можно судить, минимальная длительность смены поколений лежит где-то между 16 и 22 минутами, по-видимому, ближе к 20 минутам. Эта величина требует точного определения. Это важная биологическая постоянная. Она к тому же может быть принята за естественную единицу при изучении биологического времени. Ее можно считать за меру биологического времени. По-видимому, ее определение не представляет экспериментальных затруднений и должно быть сделано.

По-видимому, есть и максимальный предел для смены поколений. Он наблюдается в некоторых растительных организмах и отвечает немногим сотням лет, т.е. 10^7 , может быть 10^8 минутам. Его определение есть тоже задача дня.

Таким образом, амплитуда колебаний смены поколений [для разных организмов] очень значительна и отвечает миллионам или десяткам миллионов раз.

Чрезвычайно характерно для биологического времени изменение длительности поколений в ходе процесса эволюции – в течение геологического времени. Иметь понятие об этом процессе и об его характере можно только после того, как будет собран достаточный фактический материал. Для человека, по-видимому, с ходом времени в эволюционном процессе растет длительность поколения.

На основе новой физики явление должно изучаться в комплексе пространство–время. Пространство жизни, как мы видели, имеет свое особое, единственное в природе симметрическое состояние. Время, ему отвечающее,

имеет не только полярный характер векторов, но особый, ему свойственный параметр, особую, связанную с жизнью единицу измерения.

Я не могу здесь дольше останавливаться на этих явлениях. Мне важно лишь дать почувствовать их значение.

Возникает множество вопросов, ясно открываются возможности научно-го количественного изучения.

Только после того, как будут систематизированы давно известные факты или будут собраны новые, можно будет выяснить, что даст нам изучение биологического времени в связи с характеризующей его сменой живых поколений.

XVII

Но с точки зрения интересующего нас здесь вопроса о значении изучения жизни для выявления основной научной картины мира ясно, что и для пространства и для времени мироздания это изучение не безразлично. Оно вводит новые черты, не открываемые другими физическими или химическими процессами.

Ясно, что жизнь не отделима от Космоса, и ее изучение должно отразиться – может быть, очень сильно – на его научном облике. Мы это видим и для других основных элементов Космоса, но останавливаться на них я здесь не могу.

Так, жизнь стоит почти особняком в энергетике мироздания, уменьшая, а не увеличивая энтропию мира; в симметрии мира она, по мнению наиболее глубоко изучавшего эти явления проф. Ф. Егера, в эволюционном процессе, с ходом геологического времени, переходит к формам все более и более бедным элементами симметрии. Наконец, сейчас в процессах биосферы все резче и определеннее становится проявление человеческого разума, коренным образом нарушающего геологически установившиеся процессы.

Создание новых представлений о мире новой физикой заставляет обратить внимание на изучение явлений жизни, указывающих на такой не земной только, но космический ее характер.

Это необходимо особенно потому, что те биологические проблемы, которые при этом возникают, охватываются числом и мерою, основным путем, которым строится научное мироздание.

Перед биологией сейчас открываются широкие новые горизонты искания. Если подтвердится, что жизнь есть не планетное, а космическое явление, последствия этого для биологических и гуманитарных концепций будут чрезвычайны.

Так это или не так – покажет будущее. Но пока что рост новой физики позволяет идти в решении новых проблем не только всегда в науке недостаточными и ненадежными философскими построениями, а строгим научным исканием, числом и мерою. Вскрывается новый путь изучения жизни, может быть уводящий нас далеко от биосферы, в которой сейчас сосредоточена работа биолога и в меньшей мере геохимика¹.

¹ См. о современном состоянии вопроса. *В. Вернадский. Проблемы биогеохимии*. II. М., 1939 (III–IV печатаются).

О БИОГЕОХИМИЧЕСКОМ ИЗУЧЕНИИ ЯВЛЕНИЙ ЖИЗНИ*

I

Представляя два сообщения, тесно между собою связанные, так как они составляют части одной и той же работы нашей Биогеохимической лаборатории (и в одной части – Государственного радиового института), мое – об изотопах в живом веществе [65, с. 141], с одной стороны, и мое вместе с А.П. Виноградовым – о химическом элементарном составе рясок (видов *Lemna*), как видовом признаке [114, с. 148], – с другой, я считаю необходимым предварительно вкратце остановиться на принципиальном положении, лежащем в их основании.

Положение это лежит в основе всех работ нашей лаборатории по изучению явлений жизни. Оно может рассматриваться не как гипотеза, а как эмпирическое обобщение, выведенное из основания огромного эмпирического материала – фактов той новой науки, которая сложилась на наших глазах, — геохимии.

Положение это следующее: явления жизни захватывают окружающее нас глубочайшим образом, дают отражение самых глубоких, основных физико-химических явлений, наукой охваченных – *атома и пространства* в первую очередь. Изучая явления жизни, можно не только видеть, научно устанавливать влияние свойств атомов, их характера, их строения в явлениях, изучаемых науками о жизни, равным образом научно изучать в этих явлениях отражение свойств физического пространства, его состояний, но можно и нужно идти дальше и с помощью явлений жизни научно вскрывать новые свойства и проявления атомов и пространства.

По-видимому, этим путем мы можем здесь – в этой исконной области физических наук – идти глубже физики и химии и открывать более мощные, совсем не охваченные научными теорией и методами, едва для нас выявляющиеся проявления Космоса.

Такое изучение явлений жизни требует внесения поправок в основные положения естествознания, их пересмотра и научно вскрывает такие черты Космоса, которые без этой работы недоступны физике и химии.

На одном из прошлых заседаний Академии я остановился на одном таком явлении, на частном выводе, который можно сделать на изучении явлений жизни – в геохимическом и даже в геологическом ее аспекте, – на диссимметрии занятого жизнью пространства. Сегодня я хочу остановиться на другом таком явлении – на проявлении атомов и их строения в явлениях жизни.

II

С точки зрения истории идей, любопытным фактом является то, что биологическая мысль не пошла так глубоко в объяснении интересовавших ее явлений, как это сейчас делает геохимия; она остановилась на проявлениях химических явлений и частичных сил, которые, как мы сейчас себе это представляем, связаны с молекулами (и с наружной частью атомов).

* Впервые опубликовано в: ДАН СССР. 1931. № 6. С. 137. В дальнейшем опубликовано в: Био-геохим. очерки. М.; Л.; Изд-во АН СССР, 1940. С. 211–213.

Наиболее глубокие объяснения явлений жизни, которые пытались дать биологи, наиболее глубокие проявления ее, которые останавливали на себе их внимание, касались таких химических соединений, как белки, или таких проявлений частичных сил, как коллоидальные состояния материи. В молекулах – мицеллах – живых белков, например, указывается и предел проявлению жизни. Еще недавно любопытные явления в этой области указали Н.К. Кольцов [75] и, исходя из кристаллографии, Ф. Ринне [76].

Надо идти глубже, и это позволяет изучение геохимических процессов, т.е. истории атомов на нашей планете, главным образом в земной коре. Это изучение показывает, что земная кора с геохимической точки зрения является совершенно закономерной [организованностью], едва нам известной, и что в [этой организованности] явления жизни вскрываются как ее неразрывная закономерная составная часть.

В верхней оболочке земной коры – в верхней геосфере – в биосфере – явления жизни господствуют. Этим объясняется то место, которое она сейчас занимает в нашей научной мысли; это видно из подавляющего среди наук числа научных дисциплин, ей посвященных, и из того, что главная часть научного труда связана с изучением явлений жизни.

В сущности, мы наиболее глубоко и точно знаем только *биосферу*. Только здесь мы можем развернуть все проявления человеческого разума, человеческой личности. Мы сами живем в биосфере; явления ее закономерно и стихийно проявляются в нашей личности. Все, что лежит за пределами биосферы, куда мы не можем непосредственно проникнуть, во множестве своих проявлений от нас скрыто, и мы можем научно проникать туда, только опираясь на логическую силу разума, на математическую мысль.

Геохимическое изучение жизни в ее проявлениях в биосфере, т.е. в биогеохимических явлениях, вносит в оценку биологических явлений новое, потому что оно позволяет научно рассматривать явления жизни, как сложные функции строения атомов и состояний пространства, а жизнь, взятую в целом, как часть закономерной [организованности] земной коры, в первую голову биосферы, научно брать ее как планетное явление.

III

Еще несколько замечаний. Основываясь на эмпирическом научном материале и ограничивая область работы только точными методами науки, мы неизбежно сталкиваемся с готовыми, полученными иным путем пониманиями окружающего – будут ли это построения отвлеченной философской мысли, религиозного углубления или художественного вдохновения.

Все время внимательно всматриваясь в исторический ход идей и ища в нем проявлений того, к чему сейчас мы подходим в нашей научной работе, мы видим, что для нас наиболее важно и может часто помочь в нашей работе философское движение мысли.

Обращаясь к этой работе, связанной с теми двумя логическими положениями о биогеохимических явлениях, о которых я говорю, – о проявлении в них состояний пространства, т.е. симметрии и диссимметрии его и строения атомов, я не вижу в философской мысли отражений научно полученных представлений о симметрии и диссимметрии. Удивительным образом для фило-

софской мысли эти основные достижения научного понимания природы – и в частности биогеохимических процессов – являются совершенно чуждыми, для нее, можно сказать, не существуют. Отсутствие философской обработки этих основных черт мировоззрения даже затрудняет сейчас нашу научную работу в этой области.

Но представление о жизни как о сложной функции атомов, несомненно, не раз охватывало философскую мысль и, вероятно, будут найдены разнообразные проявления этой идеи в философской литературе.

Мне кажется, эти проявления можно найти в философии Г.Т. Фехнера. К ним подходила мысль дорогого и близкого мне человека, друга моей юности – И.Д. Лукашевича. В одной из своих публичных лекций до отъезда в Польшу, в лекции в Твери «О жизни» И.Д. Лукашевич высказал эту свою заветную мысль, связанную с его натурфилософскими представлениями [77].

Конечно, в истории идей ни одна из них, раз высказанная, не пропадает и неуловимым способом влияет на нас. Но если натурфилософские искания и повлияли на лежащие в основе нашей работы положения о проявлении строения атомов в явлениях жизни, помимо обычных физических и химических явлений, это нам *заметно* не было.

Это положение добыто (для нашего сознания) независимо, добыто научным размышлением над эмпирическим материалом геохимии.

О ВЛИЯНИИ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ НА ИЗОТОПИЧЕСКИЕ СМЕСИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ*

I

В 1926 г. в докладе Академии наук об изотопах и живом веществе¹ я указал на основания, заставляющие обратить внимание на входящие в состав живых организмов химические элементы, представляющие собой изотопические смеси.

На основании ряда соображений, в докладе указанных, я пришел к убеждению, что не исключена возможность влияния явлений жизни на состав изотопических смесей, т.е. на изменение в жизненном процессе атомного веса химических элементов, благодаря тому, что организм обладает способностью выбирать между изотопами, изменять состав изотопической смеси.

Это – гипотеза, но гипотеза, основанная на прочном эмпирическом обобщении, исходящем из огромного количества точно установленных фактов геохимии. Таким обобщением является утверждение о проявлении в жизненных процессах свойств *атомов*, а не только их соединений. Жизнь в геохимическом аспекте – столь глубокое явление, что ее изучение заставляет по-новому относиться к крупнейшим положениям, лежащим в основе нашего понимания природы, к атому [78, с. 11–12] и пространству, в частности.

* Впервые опубликовано в: ДАН СССР. 1931. № 6. С. 141–147 (Доклад в ОМЕН 31/1 1931 г.). В дальнейшем опубликовано в: Биогеохим. очерки. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 214–218.

¹ В. Вернадский. [Изотопы и живое вещество]. ДАН СССР. 1926. Сер. А. С. 214–218.

В этой области естествознания изучение жизни методологически более мощно, чем физика и химия, изучающие ту же область знания.

Это ярко сказывается в том новом, что вносит изучение жизни в понимание симметрии – в понятиях диссимметрии и состояний пространства [79, с. 695]. В других работах я связывал указанную гипотезу с проблемами геохимии в их самом широком, доступном мне охвате [1; 11, с. 1 и сл.; 12; 64, с. 131; 80, с. 695].

Эта гипотеза не единственная возможная. Очень вероятно, что она и не охватывает все явление нацело. Я отмечал [20, с. 301], что в биогеохимических процессах есть указания на возможность другой гипотезы – на проявление симметрии атомных полей.

Я считаю гипотезу о влиянии жизни на изотопические смеси важной потому прежде всего, что она легко и точно может быть проверена опытным путем. Эта проверка заключается в определении атомного веса химических элементов, прошедших через живые организмы, через жизненный процесс. Они должны быть иными, чем атомные веса химических элементов, не прошедших через механизмы организмов, важные для жизни.

Обратившись к определениям атомных весов, я увидел, что странным образом в многочисленных определениях атомного веса элементов отсутствуют такие определения для элементов, выделенных из вещества, входящего в состав тела животных и растений, кроме одного старинного определения атомного веса кальция, указанного в моем докладе.

А между тем за последнее время, после открытия изотопов, совершенно ясно был поставлен вопрос о необходимости изучить атомные веса элементов возможно разнообразного происхождения.

В результате огромной работы выяснилось, что никакого отклонения в атомном весе железа, никеля, магния, мышьяка, кобальта, кремния, хлора, калия и других элементов не найдено – в пределах ошибок, – несмотря на то, что брались пробы из природных тел самого разнообразного происхождения и способа образования (за исключением организмов) [81, с. 145–146].

Имеет особое значение, что не оказалось различия между телами земными и метеоритами. Единый состав изотопических смесей выдерживается не только в явлениях нашей планеты, но и в явлениях космических.

В земных условиях благодаря резко идущему радиоактивному распаду урана, тория и протактиния наблюдается изменение атомного веса в свинцах, происшедших из разных уран и торий содержащих минералов. Свинцы из урана и тория по атомному весу различны. Обычный свинец, выделяемый из свинцовых руд гидротермального, метасоматического и вадозного (все из водных растворов) происхождения, дает всегда неизменно один и тот же атомный вес 207,2, подобно всем остальным химическим элементам. Исключение составляет свинец из котуннита Везувия, выделившегося фумарольным процессом [82, с. 578].

II

Работы над выделением элементов из живых организмов для определения их атомного веса, для проверки высказанной мною в 1926 г. гипотезы, я начал в 1928 г., не считая предварительных опытов и организации лаборатории, начатой в 1927 г.

Когда работа в 1927–1928 гг. началась, мы думали ее кончить в полгода и выдвинули на первое место физическую методику установления веса изотопов.

Но затем план был изменен: на первое место выступили химические методы; от постройки прибора пришлось отказаться, хотя она и была начата. Мы пошли по пути химического определения атомных весов. Для этого потребовались гораздо большие количества вещества, чем это предполагалось вначале.

Тем не менее, несмотря ни на что, нам удалось вести работу, и сейчас, через три года, мы имеем в разной стадии очищения соединения следующих элементов, выделенные из организмов: железа (из гемоглобина крови), магния (из хлорофилла), калия, кальция, серы, цинка (из *Aspergillus niger*), кремния.

III

Мы думали как раз приступить к определению атомных весов, если бы, как мне казалось, изменения их были так велики, что могли быть констатированы в нашей лабораторной обстановке.

Калий был совсем очищен, а очищение железа подходит к концу.

За это время появились другие работы, давшие и поставившие ту же проблему, над которой мы работали.

Почти одновременно с моим докладом появились определения атомного веса хлора из мочи человека. Эти определения дали обычные числа для этого элемента [83, с. 104; 84, с. 125]. Это и понятно, ибо изменения атомного веса организмами можно ждать только в тех случаях, когда дело идет о веществе, необходимом для жизни организма, а не о веществе отброса, каким является моча.

Совершенно иной характер имеют работы, появившиеся в 1930 г. Таковы работы Ф. Лоринга и Д. Дрюса об атомном весе калия, добытого из клубней и корневой системы картофеля [85, с. 33 и сл.].

Ф. Лоринг и Д. Дрюс нашли резкое увеличение атомного веса калия, прошедшего через картофель. По их измерениям в этом калии преобладает изотоп атомного веса 41, а не изотоп атомного веса 39, как в обычном калии. Они получили для такого калия атомные веса 40, 40–40,59, вместо 39,1. Они смогли подтвердить эти свои определения изучением радиоактивности: действие на чувствительную фотографическую бумагу этого калия оказалось резко повышенным. В 1931 г. Д. Дрюс [86, с. 33] дал новые определения, подтверждающие первые, определения атомного веса калия из ботвы (haulm) картофеля дали колеблющиеся числа¹ 40,08–40,8, предварительное определение калия

¹ Такие большие колебания являются сейчас непонятными, так как одни относятся к одной и той же порции KCl, многократно перекристаллизованной. Если не допускать неточность работы, надо допустить особые явления во время кристаллизации. Это можно себе представить, так как один из изотопов (41) радиоактивен, другой (39) нет. Атомы первого, испускающие β - и γ -лучи, должны являться резкими центрами кристаллизации, и пропорционально их числу может получиться иная концентрация тяжелых атомов в разных кристаллах. Опыты разделения изотопов кристаллизацией, ныне известные, не указывают этих явлений, но, мне кажется, случая, вполне аналогичного данному, в опытном порядке пока не встречено.

из семян люпина – 40,67. В то же время калий из отмершей хвойной древесины дал обычное число 39,11, то же нормальное число получено для металлического калия, пролежавшего 20 лет в лаборатории¹ (39,04).

Первая работа Ф. Лоринга и Д. Дрюса вызвала возражения со стороны одного из американских химиков. Г. Лоури [87], желая проверить достижения Ф. Лоринга и Д. Дрюса, определил атомные веса калия из хлопка (семянных волосков) и из одной пшеничной американской муки². Он получил нормальные атомные веса – соответственно $39,111 \pm 0,013$ и $39,091 \pm 0,016$.

Сейчас в Государственном радиевом институте получены М.А. Пасвик-Хлопиной соединения калия, приготовленные из семян гороха и фасоли. В.Г. Хлопин приступил к проверке атомного веса этого калия, которая должна выяснить противоречия между опытами Ф. Лоринга и Д. Дрюса, с одной стороны, и Г. Лоури – с другой³.

IV

Задача поставлена и сейчас, очевидно, будет окончательно разрешена. Ф. Лоринг и Д. Дрюс связали свою постановку с идеями Г. Звардемакера [88, с. 68], связали ее с радиоактивностью калия. Исходная точка нашей работы иная, мы поставили ее в общей форме, связав с общим влиянием жизни на характер атомов, живым организмом используемых. Очень возможно, однако, что эти точки зрения окажутся по существу близкими, так как возможно, что при разделении живыми организмами стойких элементов, таких как Са, Fe, Mg и т.д., выделенные ими изотопы проявят свою радиоактивность, слишком слабую для нашей современной методики в тех малых концентрациях, в каких мы сейчас наблюдаем (например, для Fe – 54)⁴. Может быть, в жизненном процессе концентрируются радиоактивные изотопы. Ф. Лоринг и Д. Дрюс уже говорят о биологическом обогащении изотопов [85, с. 34].

Недавно, в декабре 1930 г., вышла новая работа, которая ставит вопрос о разделениях «органическим процессом» изотопов урана. Г. Бакстер и А. Блисс [92, с. 4848] нашли, что в палеозойском биолите – кольме, в котором в свое время были установлены А. Норденшильдом [93, с. 859; 94, с. 36] уран и радий, нет актиниевого ряда. Это открытие, имеющее очень большое значе-

¹ О причине такого выбора металлического калия см. J. Druce [86, с. 35].

² Хлопок должен быть рассматриваем как вещество отброса для живого организма: это – мертвые части оболочки семени. Патентованная мука, им использованная, была подвергнута неизвестно каким переработкам.

³ Разрешение вопроса затянулось из-за отсутствия необходимых материалов. Впоследствии материалы были получены и опыты поставлены. Ныне работа закончена (См. V. Chlopin et M. Chlopin-Pasvig. Bull. Soc. Chim. de France, 1932, p. 1227). Они получили нормальный атомный вес – 39. Новые определения, сделанные в Праге, Вагнера и Геллера, повторивших опыты Дрюса (R. Wagner и Heller. Ztschr. f. physikal. Chemie, 200, с. 105, 1931; *ibid.*, 1932), дали тоже нормальные для калия числа. Надо признать, что Дрюс и Лоринг ошиблись. Причина же ошибки заключается в недостаточной очистке вещества. Надо признать, что в пределах точности химического метода определения атомного веса калия (вторые десятичные) влияния живого вещества в этом случае нет.

⁴ Для железа есть указания, заставляющие очень внимательно относиться ко всяким возможностям допущения радиоактивности. Таков характер «активного» железа минеральных вод, выявленный Баудишом и его сотрудниками. См. работу противников идеи об особой активности такого железа [89, с. 378]; ср. из другой области [90; 91].

ние в учении о радиоактивности, о чем я здесь говорить не буду, объясняется ими концентрацией «органическим процессом» (organic process) одного из изотопов урана в кольме. Сейчас Бакстер и Блосс ставят определение атомного веса урана из кольма.

Это открытие ставит новые задачи и в области биогеохимических проблем. «Органический процесс» Г. Бакстера и А. Блосса есть тот же биологический процесс Ф. Лоринга и Дрюса, есть влияние жизни на выделение изотопов урана нашей лаборатории. До сих пор уран в организмах, сколько знаю, указан недавно только в куриных яйцах [95, с. 480].

V

Мы находимся в начале работы, но совершенно ясно, сколько неожиданных новых научных путей, сколько новых проблем возникает, раз только получится положительный ответ на поставленный мною, в форме, удобной для эксперимента, в 1926 г. вопрос.

Сейчас может быть следует поставить некоторые из возникающих проблем, особенно те, которые могут интересовать широкие круги.

Во-первых, очевидно, вопрос об удобрении калием должен быть пересмотрен с новой точки зрения. Является ли особым концентрированным удобрением зола зерен? Или живые зеленые растения? Каков атомный вес калия из свежего и сухого сена?

Во-вторых, во всех случаях, медицинских и ветеринарных, должен быть поставлен вопрос, как действуют соли кальция, железа, магния, цинка и т.п. на организм. Одинаково ли действие их, изготовленных из обычных элементов, и из элементов, прошедших через организм? Есть один уже несомненный случай, который должен обратить на себя серьезное внимание сейчас же – это вопрос об отравлении свинцом. Насколько различно физиологическое действие разных свинцов на организм? Ведь ториевый свинец (208,0) и урановый свинец (206,0) и сейчас доступны в относительно больших количествах. Их атомы отличны не только по весу, но и по строению.

Я считаю возможным поставить эти вопросы не потому, чтобы считал влияние жизни на изотопные смеси уже окончательно доказанным (этого еще нет), но потому, что в этой чрезвычайно сложной и сулящей большие неожиданности области явлений одновременный подход разных специалистов – с разным складом ума и с разной методикой – в высшей степени полезен для быстрого решения этой ясно важной проблемы.

[Открытие в 1933 г. тяжелого водорода, колебания в количестве тяжелой воды – D_2O – в составе обычной воды и разное отношение живых организмов к разным смесям H_2O и D_2O обратило общее внимание на этот вопрос.

Два факта были установлены в последние годы: 1) живые организмы раз-но относятся к соединениям изотопов 2H и 1H , 2) в природных соединениях атомный вес водорода из разных природных его соединений различен: разные природные воды это выявляют ясно.

Эти факты заставляют обратить внимание на проблему, поставленную мною в 1926 г., о способности организмов различать изотопы и о колебании

атомных весов химических элементов в зависимости от условий образования их природных соединений [1, 96].

Эти следствия были ясны при самом первом подходе к изучению тяжелой воды и тяжелого водорода. Пытались рассматривать эти явления как особые свойства ^2H , отличающие его от обычных изотопов. Ф. Содди высказал, в связи с этим, сейчас же гипотезу, что дейтерий (D или ^2H) не является изотопом водорода, а относится к нему аналогично отношению озона (O_3) к кислороду (O_2), есть его соединение. Это представление должно было быть сейчас же отброшено, так как: 1) химические свойства H и ^2H являются в первом приближении идентичными, 2) оба изотопа H и ^2H находятся – пока, по крайней мере, – во всех водородах природных соединений и 3) открыт третий изотоп ^3H , который так же, как и первые два, найден во всех природных водородах.

Тогда получило распространение в научной среде представление, что эти своеобразные свойства тяжелого водорода свойственны именно ему, а не свойственны другим изотопам, так как разницы между весами разных изотопов водорода далеко оставляют за собой весовые различия между другими изотопами. Вследствие этого соответственно и химические различия между дейтерием и обычным водородом более резко выражены, чем между другими изотопами. Это как бы два разных химических элемента.

Однако даже сам этот вывод в таком его изложении вызывает сомнения и особенно логически неправильным является выводимое из него следствие.

Правда, ^2H вдвое тяжелее ^1H , а ^3H втрое тяжелее ^1H . Таких больших различий между изотопами в других случаях нам неизвестно. Здесь весовые различия между изотопами равны 2 и 3. Таких больших различий мы не наблюдали между другими изотопами, но они приближаются к данным. Мы имеем непрерывный ряд: 3 – водород, 2 – водород, 1,66 – гелий, 1,33 – гелий, 1,16 – литий, 1,09 – цинк и т.д.

Самое представление о том, что химические свойства различаются пропорционально различию весовых величин атомов, явно неверно.

Разница между атомными весами Co и Ni, Se и Br и т.п. значительно меньше разницы между атомными весами многих изотопов, а химические различия между этими элементами огромны. Нет никаких оснований считать, что разница между атомными весами и между изотопами будет идти параллельно.

Можно, следовательно, принять, что установленное различие в атомном весе земных изотопических смесей водорода, т.е. колебания атомного веса земного водорода и различное отношение организмов к разным изотопам водорода, является установленным, хотя и не изученным.

Отсюда, очевидно, можно с большей уверенностью исследовать эти явления и для других химических элементов.

Изучение этих явлений поставлено в нашей стране в Биогеохимической лаборатории (с 1928 г., сейчас – для Zn, Mn, Fe) и в Комиссии по изучению тяжелого водорода и других изотопов при Академии наук, объединяющей ряд лабораторий (для H, ^{18}O и др.).

Очевидно, что необходимо поставить исследование вопроса об изменчивости земных атомных весов химических элементов и что эти колебания должны быть установлены более тонкими методами исследования, чем химическое определение атомного веса. Физические методы исследования должны быть поставлены на первое место.

Это очередная научная задача первостепенной важности. Точность определения должна быть увеличена, по крайней мере до единицы в третьем знаке].

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДЫ ОКЕАНА*

28. В биосфере вообще, и в Океане (гидросфере) в частности, выступает на первое место другая активная энергия – геохимическая энергия жизни.

Вся химия Океана больше всего меняется жизнью. Один химический состав воды Океана не может сам по себе объяснить даже важнейших химических реакций гидросферы.

Для того, чтобы их понять, необходимо точно количественно знать *биогеохимический* состав воды Океана.

Для этого нужно, во-первых, узнать точный количественный химический состав биоценозов и организмов, живущих в воде, и определить, во-вторых, характер концентрации всей жизни в Океане.

Если химический состав теперешних организмов неизбежно определенно отличен от состава растений и животных других, былых геологических эпох¹, то по отношению к биологическим условиям их жизни этого не только нельзя утверждать, но, наоборот, можно с несомненностью утверждать обратное, стоя на твердой почве геологически вечных явлений. Концентрация жизни, ее сгущения неизменно всегда повторялись во всех геологических эпохах в тех же формах биоценозов, независимо от геологического времени.

Палеобиология нас учит с огромной точностью, что во всех древних геологических эпохах существовали в природе те же биологические соотношения, какие существуют и теперь, несмотря на происшедшие в процессе эволюции видов глубокие изменения в форме организмов при создании их новых видов, и родов. Во всех геологических эпохах, от которых у нас сохранились остатки, существовали непрерывно автотрофные, гетеротрофные, миксотрофные организмы, бегающие, летающие животные, хищники, травоядные и т.п. и их биоценозы.

Строение жизни всегда было одинаковым, геологически вечным. Состав их морфологических форм постоянно изменчив.

Палеостратиграфия является здесь надежным путеводителем вплоть до древнейших морских остатков кембрийской эпохи и даже глубже.

29. Жизнь в Океане сосредоточивается лишь в определенных местах; эти места характеризуют *биогеохимическое строение Океана*. Вне этих мест Океан беден жизнью, видимой или невидимой, часто почти безжизнен.

* Глава VI из статьи «Океанография и геохимия», представляющей собой доклад, прочитанный 2 апреля 1932 г. в Москве в Государственном океанографическом институте и 20 июня 1932 г. в Геттингене в Минералогическом институте Геттингенского университета. Впервые опубликован в: Mineral, u. petrogr. Mitteilungen, 44, 1933, 5. 168–192. В дальнейшем в: Биогеохим. очерки. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 219–238; Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. С. 271–288.

¹ В общем средний химический состав жизненных форм, по-видимому, неизменен, т.е. средний химический состав живого вещества геологически вечен [1].

Для большинства геохимических проблем достаточно изучить лишь эти области жизненных сгущений – концентрации жизни: они охватывают большую массу жизни [11. С. 121].

Эти концентрации жизни располагаются на поверхности Океана или на границе между Океаном и твердыми частями биосферы.

Можно различить четыре основных концентрации жизни [Там же]: *две жизненные пленки – планктонную и бентосовую (или донную)*, охватывающие весь объем гидросферы, и *два сгущения жизни*, обогащения более местного характера, одно, связанное с планктонной живой пленкой – *саргассовое жизненное сгущение*, и второе, связанное с бентосовой, отчасти с планктонной пленкой – *прибрежные сгущения* на берегу и в мелях Океана, на границах с твердыми частями планеты.

Пленки жизни имеют наибольшее значение с геохимической точки зрения, как содержащие наибольшее количество организмов.

30. *Планктонная пленка*, значение которой понято было уже давно великим биологом Иоганном Мюллером, обнимает непрерывно всю поверхность Океана. Поверхность этой живой пленки отвечает приблизительно $4 \cdot 10^8$ км², т.е. 400 млн км². В этой пленке господствуют парящие маленькие, микроскопические и субмикроскопические организмы; среди них зеленые автотрофные растения играют важнейшую роль. Здесь происходит превращение лучистой энергии Солнца в земную химическую энергию. В этой части планеты производится большая часть свободного кислорода; в ней, следовательно, сосредоточивается важнейшее биогеохимическое явление Земли – образование свободного кислорода. Взятая в общем оболочка планктона – главная основа жизни Океана. Здесь синтезируются вещества, которые делают возможным существование всей, для Океана столь характерной животной жизни. Только благодаря планктонной пленке создается вторая оболочка, донная живая пленка Океана, охватывающая бентос.

Пленка планктона не мощная – в среднем, вероятно, меньше 100 м толщиной; в каждом ее кубическом сантиметре находится несколько десятков тысяч организмов. В весе воды, заключающейся в планктонной пленке, вес организмов, по-видимому, составляет гораздо менее 1% – лишь небольшие его дробные доли.

Но в этих ничтожных количествах вещества, соответствующих объемам – часто микроскопическим – планктонных организмов, заключается огромная по мощи геохимическая энергия жизни, изменяющая всю химию Океана.

Организмы планктонной пленки вниз и вверх быстро редуют: они идут вглубь на многие сотни метров, но в таком разрежении, что в общем химическом строении Океана могут быть оставлены без внимания.

31. *Донная, или бентосовая, пленка* отделяется от планктонной иногда многими километрами, в среднем 3,8 км. Огромные массы воды Океана, бедной жизненными формами, разделяют эти две оболочки. Но пленка бентоса в своем существовании, несомненно, зависима от планктонной пленки. Здесь, как правило, нет зеленых растений; господствует мир животных; его жизнью вновь биохимически перерабатываются падающие на дно остатки планктонных и промежуточных организмов и через нее вновь вводится в жизненный цикл их вещество.

Поверхность бентосовой, донной, пленки, ее площадь, соответствующая орографии дна Океана, гораздо больше, нежели площадь планктонной пленки; она, вероятно, охватывает больше миллиарда квадратных километров; мощность пленки соответствует нескольким десяткам метров, но масса жизни на квадратном метре, по-видимому, гораздо больше, чем в планктонной пленке.

32. *Сгущения жизни*, саргассовые и прибрежные, хотя и занимают – в человеческом масштабе – огромные площади, по сравнению с планктонной и бентосовой пленками отходят на второй план, они не дают сплошной оболочки.

В биосфере ими нельзя пренебрегать; в них, по-видимому, встречаются такие обогащения жизнью, в расчете на площадь, ею занятую, какие не существуют для планктона и бентоса. Но это, в сущности, местные явления, если сравнить их по размерам с пленками жизни.

33. Химизм всех этих больших скоплений жизни, можно сказать, почти неизвестен. Исследование его должно начаться заново.

При таком состоянии наших знаний нужно вначале выбрать самую важную проблему. Биогеохимически планктонная пленка кажется самой важной. Ее химический состав должен прежде всего – во всех его формах – быть возможно полнее исследован. Это самый грандиозный биоценоз нашей планеты; здесь, вероятно, существует геологически вечное химическое равновесие:

Вода планктонной пленки \rightleftharpoons Организмы этой пленки

Эта задача систематически поставлена в последние годы в Вашей Биогеохимической лаборатории Академии наук. Работа ведется под руководством моим и А.П. Виноградова.

В табл. дан (в весовых процентах) первый, еще неопубликованный анализ одного вида планктона Мурманского моря – определенного типа, зоопланктона. Химический анализ сделан А.П. Виноградовым.

**Состав живого планктона.
Зоопланктон (*Calanus finmarchicus*), Мурманское море**

Элемент	Александровская гавань, 1930 г.	Море, 1930 г.	Море, 1931 г.	Элемент	Александровская гавань, 1930 г.	Море, 1930 г.	Море, 1931 г.
O	79,99	–	–	P	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$
H	10,26	–	–	Ca	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$
C	6,10	–	–	Mg	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$4,4 \cdot 10^{-2}$
N	1,52	1,65	1,51	Fe	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	–
Cl	1,05	1,18	1,07	Si	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	–
Na	$5,4 \cdot 10^{-1}$	$6,5 \cdot 10^{-1}$	–	Br	$9,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	–
K	$2,9 \cdot 10^{-1}$	$2,9 \cdot 10^{-1}$	–	J	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$	–
S	$1,4 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$				

Это первые наиболее полные анализы морского планктона.

Я не буду касаться здесь методики анализов и техники сбора планктона. Это будет дано в другом месте [5].

Конечно, этот планктон, почти нацело состоящий из ракообразных *Calanus*, не дает полного понятия о составе всего зоопланктона Мурманского моря, где он собран. Ибо это только часть зоопланктона – большая по массе, – уловленная сетями определенного диаметра. Надо сделать анализ и других частей морского планктона, здесь упущенных. Только тогда получится цельная картина.

Но уже и этот неполный анализ дает важные указания. Он показывает, что *состав планктона – в общем – остается чрезвычайно постоянным*. Очень возможно, что мы имеем здесь дело с геологически вечным явлением.

Это указание, которое получается от этих первых определений, заставляет еще настойчивее добиваться анализа обычных основных океанических биоценозов – планктонной и бентосовой пленок, саргассовых и береговых жизненных сгущений. Не является ли их состав определенным и во времени, лишь колеблющимся около неизменного, геологически вечного среднего, как это мы наблюдали для среднего солевого остатка океанической воды. Даже если считать, что это постоянство отвечает постоянству состава вида [7; 114. С. 414–426] – *Calanus finmarchicus*, – то это не меняет дела, ибо зоопланктон этого именно видового состава получается здесь из года в год. Мы знаем, что морфологический состав других оставшихся в стороне частей планктона столь же в среднем постоянен во времени.

Можно надеяться, что анализы планктона мы получим в ближайшем будущем.

Государственный океанографический институт в Москве поставил задачу организовать этим летом для этой нашей работы сбор нужного материала по определенным правилам во всех морях нашего Союза. Через несколько месяцев мы надеемся получить более определенные числа¹.

В планктонной пленке соответственно временам года происходит, по-видимому, геологически вечное чередование – численное и закономерное – зоо- и фитопланктона; происходят постоянные биогеохимические круговые процессы и совершенно определенные миграции определенных атомов для образования разных форм планктонной пленки.

Все эти явления могут быть количественно научно охвачены.

34. Перед нами лежит широкое и важное поле работы. Необходимо знать химически точно состав скоплений жизни.

Только тогда можно будет понять удивительную химическую структуру² гидросферы. Твердые массы, непрестанно, закономерно выделяющиеся из воды Океана, образующие сотни минеральных видов и строящие горные породы, не могут быть объяснены и численно определены, исходя из представления об океанической воде, как о простом растворе. Из раствора ее состава при температуре и давлении Океана и при составе его дна и берегов ничего бы не выделялось в форме твердых фаз. Минералы, выделяющиеся в Океане, суть продукты биогеохимических явлений; это органогенные образования, создаваемые геохимической энергией жизни в ее живых пленках и сгущениях.

¹ Материал в нужном количестве не получен до сих пор. Может быть, характерно и важно это отметить.

² В 1932 г. было «механизм».

35. Я кратко коснулся в этом докладе только немногих из множества проблем, выявляемых при геохимическом охвате океанографии, проблем, стоящих на очереди дня. Они стоят на очереди дня не только благодаря их большому значению, но и потому, что путь к их разрешению ясен и на нем нет сколько-нибудь значительных методических трудностей.

Идя этим путем, можно получить количественное представление об установившихся статических равновесиях химического (атомного) радиоактивного и биогеохимического характера.

Лишь на этой основе можно идти дальше и глубже и подойти к энергетике гидросферы. Но и здесь геохимическая точка зрения должна играть большую роль, ибо энергетика гидросферы, по-видимому, является сложной функцией строения атомов.

Химическая океанография должна неизбежно все время изучаться в тесной связи с геохимией.

ЗНАЧЕНИЕ БИОГЕОХИМИИ ДЛЯ ПОЗНАНИЯ БИОСФЕРЫ*

ОТ АВТОРА

Предлагаемый вниманию читателя первый очерк «Проблем биогеохимии» был в сокращенном виде – в основной, главной своей части, – сообщен Академии наук СССР на юбилейной ее сессии в ноябре 1932 г. Так как он появляется отдельно от общего сборника докладов этой сессии, автор получает возможность вернуться к той форме его издания, какую он желал придать ему, когда он писал и обдумывал свою речь и когда он не знал ничего о предполагаемом сборнике.

По мысли автора, в академической речи неправильно было бы давать только то, что уже известно из литературы – надо было в итогах академической работы за 15 лет в сжатой, но ясной форме сообщить новое, выявляющее значение той новой науки – биогеохимии, которой автор отдал последние 17 лет своей жизни. При таком понимании задач академических речей, очевидно, невозможно было вместить в одной речи, без существенного понижения уровня научного изложения, достижения этой новой науки, с их новыми методами работы и с необычной для биолога постановкой тем и понимания окружающего, при условии, когда биогеохимические концепции только входят – но еще не вошли – в научное понимание реальности.

Биогеохимия в атомном аспекте научно охватывает изучение жизни в строении нашей планеты; понятно поэтому разнообразие и глубина, близость к нам проблем, ею вызываемых.

Автор остановился поэтому на мысли дать в трех–четыре очерках некоторые главные результаты биогеохимической работы, которые как раз были

* Доклад, прочитанный на юбилейной сессии Академии наук СССР в ноябре 1932 г. Впервые опубликовано в: Доклады, представленные к Торжественной юбилейной сессии АН СССР, посвященной 15-летию Октябрьской революции. Л.: Изд-во АН СССР, 1932. Печатается по тексту: *Вернадский В.И.* Проблемы биогеохимии // Тр. Биогеохим. лаб. Т. 16, 1980. С. 10–54.

достигнуты за последние пять лет и которые теснейшим образом связаны – созданы в значительной мере – в научной среде нашей страны и нашей Академии наук в частности.

В другом юбилейном сборнике, освещающем научную работу десятилетия 1917–1927 годов, автор коснулся генезиса биогеохимических идей в нашей стране¹. Теперь, через пять лет, можно попытаться свести полученные результаты.

Для первого очерка автор ограничил свою задачу только одной областью биогеохимических исканий – геохимического влияния жизни на геологические процессы – влияния ее на создание среды жизни – биосферы.

При этом и здесь он должен был сузить свое изложение, не жертвуя глубиной. Он остановился только на проблемах этого рода, затронутых в Биогеохимической лаборатории Академии наук.

Он надеется, если обстоятельства позволят, в следующих очерках пойти дальше в выяснении проблем биогеохимии и, выявив ее значение, возбудить сознание необходимости идти этим путем научной работы в нашей стране.

Второе издание печатается с небольшими изменениями. Наиболее существенное связано с расширением пределов биосферы, выясненным в 1933–1934 гг.

Январь, 1935 г.

I. ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

1. Биогеохимия – новая большая отрасль геохимии, изучающая влияние жизни на геохимические процессы, связывает по-новому науки о жизни с геологией и с науками об атомах.

Работая в этой области с 1916 г., за год до революции, и подводя здесь итоги работы в одном из главных ее отделов, я почти не выхожу за тот 15-летний период существования Союза, за который Академия хочет дать на отдельных примерах обзор своей деятельности.

Пока только в нашей стране существуют организации, центры работы, биогеохимического характера. Таковы Биогеохимическая лаборатория при нашей Академии наук, начавшая работу пять лет назад в 1928 г., и Биогеохимический отдел Московского государственного океанографического института в Ленинграде с лабораторией в с. Полярном на Мурманской биологической станции, начавшей более правильную работу в этом году (1933), но основанной в 1931 г. Часть нашей работы связана с Государственным радиевым институтом, и помощь нам оказана Комитетом по химизации и Украинской Академией наук. Нужно не забывать, что все эти центры научной работы маломощны и медленно развиваются.

Мне представляется несомненным, что интерес к этой области знаний увеличивается сейчас и на Западе. Летом 1932 г. я сделал, по предложению зоолога проф. А. Кюна, в Геттингене в его институте доклад о биогеохимических проблемах для биологов и в институте проф. Гольдшмидта там же. Если обратить внимание на научную литературу, ясным становится, как

¹ См. В. Вернадский. Геохимия в Союзе, 1917–1927. «Наука и техника в Союзе 1917–1927». Т. I. М., 1927 (перепечатывается в печатающемся сборнике моих статей «Биогеохимические очерки», I.).

быстро поднимается интерес к этим вопросам, как быстро растет относящаяся сюда литература и увеличивается в мировой научной работе количество относящихся сюда новых точных фактов – единой и всегдашней основы всякого научного знания.

2. Говоря об основных достижениях и охватах биогеохимии в нашей стране, выясняя ее значение в современной мысли, я все время неизбежно должен буду, конечно, по существу дела считаться главным образом с работой и исканиями академической лаборатории.

Биогеохимия, так же как геохимия, может изучаться в трех аспектах: во-первых, с биологической стороны – ее значение для познания явлений жизни, во-вторых, с геологической стороны – ее значение для познания среды жизни, т.е. прежде всего биосферы, и, в-третьих, в связи с ее прикладным значением, которое может быть научно сведено к биогеохимической роли человечества. Хотя работа нашей лаборатории главным образом связана сейчас с биологическими проблемами – изучаются организмы как таковые, я коснусь сегодня только вопроса о биосфере, т. е. буду говорить о биогеохимии в ее геологическом аспекте.

II. БИОГЕОХИМИЯ СРЕДИ НАУК ОБ АТОМАХ. ОРГАНИЗОВАННОСТЬ ЖИЗНИ И ЕЕ СРЕДЫ В АТОМНОМ ИХ ПРОЯВЛЕНИИ

3. Новая по имени отрасль знания, биогеохимия, имеет давнюю историю, и ее проблемы давно, уже многие поколения, занимают научную мысль.

Однако в действительности она есть вполне создание нашего столетия не только по имени. Ибо стало возможно говорить о биогеохимии как об отдельной научной дисциплине только тогда, когда и в понимании явлений жизни, и в понимании химии нашей планеты, в геохимии в частности, совершился глубокий поворот, резко отличающий XX столетие от прошлых веков. Это коренное изменение в биологических и в геологических науках связано с еще более глубокими изменениями научного мировоззрения – с представлением об атоме, меняющем наше понимание основных элементов, строящих Космос в его микроскопическом разрезе, и с представлением о планете как о космическом естественном теле, не случайном, но обусловленном макроскопическим строением Космоса.

Те две научные области, которые столь резко меняют сейчас картину мира и глубочайшим образом, единичными, поражающими нас, взмахами колеблют и двигают научную и философскую мысль, всю духовную и материальную жизнь человечества, эти дисциплины – области физики и астрономии – своим перерождением открыли путь к выявлению биогеохимии.

4. Биогеохимия есть одна из наук, связанных с изучением атомов. Биогеохимия изучает влияние жизни на историю земных химических элементов, т.е. всех разнородных атомов земной коры; в частности, она исследует те перемещения земных атомов – миграции их масс, которые вызываются живыми организмами. Такие биогенные процессы в определенных частях нашей планеты играют чрезвычайно важную роль, охватывают значительную массу их вещества и составляют не меньшую часть их энергии, в них господствуют.

Биогеохимия может быть рассматриваема в связи с этим как *геохимия биогенных процессов*.

Биогеохимия изучает атомный состав организмов, его отношение к атомной структуре области жизни, проявление всех тех свойств организма, которые непосредственно обуславливаются его атомным строением. Живой организм, совокупности которого изучает биогеохимия, сводится при этом к массе, к объему, к состоянию отвечающего ему пространства, к атомному количественному составу, к геохимической энергии¹.

Геохимия, часть которой составляет биогеохимия, изучает историю в пространстве–времени земных атомов. Но уже сейчас можно утверждать с большой степенью вероятности, что значение ее гораздо глубже, ибо земные атомы закономерно и неразделимо связаны с атомами Космоса. Проявления атомов на нашей планете ясно указывают, что, изучая их, мы изучаем общую атомную *химию планет*– спутников звезд, холодных небесных тел, одним из которых является в Солнечной планетной системе наша Земля.

Изучая геохимию, мы изучаем одно из проявлений атомной планетной химии, в свою очередь ничтожную часть огромного целого – космохимии – атомной химии звезд, галактик и систем галактик. Космохимия есть часть астрофизики. Теоретически важно, что эту ничтожную часть Космоса можно изучать в геохимии и особенно в биогеохимии с такой глубиной, которая недоступна нам ни в одном другом отделе космической химии.

Взятая в атомном разрезе, химия Космоса сводит мир к областям атомов, различным по характеру и по форме свойственных им миграций и равновесий. Создается *атомная геометрия пространства – времени*, новая, небывалая удобная модель для научной классификации, впервые охватывающая необозримое количество точно устанавливаемых количественно, в пространстве – времени выраженных, научных фактов. Биогеохимия научно вводит в этот закономерный стройный мир атомов, в геометрию Космоса, явления жизни, как неразрывную часть единого закономерного целого. Связывая жизнь с атомами, биогеохимия логически неизбежно вводит явления жизни в круг тех проблем, которые выявляются структурой, организацией самих атомов, состоящих из более мелких закономерных единиц, охватывающих весь научно строяемый мир.

5. Мне кажется, что благодаря этому философское и научное значение биогеохимии очень велико, так как до сих пор в картине научно построенного Космоса жизнь исчезла или играла ничтожную роль². Она не была связана с Космосом как необходимое закономерное звено.

Нередко в философских и в научных концепциях мира жизнь появлялась как самодовлеющая часть; она связывалась с научной картиной мира, как *deus ex machina*, случайно и произвольно. Жизнь могла исчезнуть без того, чтобы в научной картине мироздания дрогнули и изменились бы заметным образом какие бы то ни было ее серьезные, важные черты.

¹ О понятии совокупностей организмов, *живого вещества* в геохимических процессах см. В. Вернадский. Химический состав живого вещества, 1923; *Его же*. Биосфера. Л., 1926; *Его же*. ИАН, 1926, с. 700; *Его же*. Очерки геохимии. 4-е изд. Л., 1934, с. 171 и сл.

² В. Вернадский. ИМЕН, 1931, с. 409.

Теснейшая связь жизни с планетной химией, как это выявляет биогеохимия, научно связывая жизнь с атомами, с их положениями в пространстве–времени, вводит жизнь в самую основную, самую глубокую структуру Космоса; с одной стороны, этим путем создается нова база для понимания и исследования явлений жизни, с другой, – выявляются в явлениях жизни раньше оставляемые без углубления области ее бытия.

Она входит в область наук об атомах как раз в исторически важнейший и ответственный момент их развития.

Входя в атомную планетную химию как закономерная часть, науки о жизни захватываются самым могучим течением современной мысли, которое чеканит жизнь человечества на поколения, попадают в вихрь взрыва научного творчества, который мы переживаем¹. В проявлениях жизни в этом аспекте вскрываются новые, раньше не охватывавшиеся научной мыслью, ее черты, должны создаваться и получать новое освещение новые категории научных биологических фактов.

6. Они входят в модель мира, которая создана в XX столетии, но которая имеет свои корни в идеях, не высказанных в ясной форме, но существование которых может считаться доказанным в первой половине XIX столетия. Фарадей² около ста лет тому назад имел представление о закономерном распределении химических элементов в разных частях мироздания, как бы предвидел создающуюся сейчас атомную модель мира. Шенбейн³, один из близких его друзей – в те же 1830–1840-е годы – не раз высказывал убеждение о неизбежном создании в будущем новой науки, часть которой составляет биогеохимия, науки, которую он уже называл *геохимией* и которая по существу является проявлением современного атомного представления о мироздании, если мы вместо химического элемента возьмем отвечающий ему атом. К концу столетия в разных странах, в России, в Северо-Американских Соединенных Штатах, и в Норвегии главным образом, создались центры научной работы, из которых выросла геохимия, вся охваченная представлением о значении и закономерности движений и равновесий атомов, строящих Космос, в своей совокупности представляющих единое целое⁴.

Наш век вводит в эту концепцию новое представление об основном преобладающем значении в строении мироздания еще меньших дискретных индивидуумов материи – протонов, нейтронов, электронов и т.д., из систем которых состоят атомы. Изучая историю атомов, мы изучаем в действительности историю и строящие их и с ними связанные другие мельчайшие элементы материи.

7. В эту современную научную модель, научно построенный Космос – как важная составная часть – неразрывная и закономерно научно согласованная, входят через биогеохимию, через биогеохимические процессы – явления жизни.

¹ В. Вернадский. Мысли о современном значении истории знания. Тр. КИЗ, 1927, 1.

² В. Вернадский. Очерки геохимии, 1934, с. 312.

³ J. Schönbein. Annalen d. Physik, 45, L., 1838, p. 277 [114]; Mitteilungen aus d. Reisebüche eines deutschen Naturforscher. Bas., 1842, p. 99 [115]; O. Erdmanskörfer. Mineralogie einst und jetzt. Heid., 1931, p. 11.

⁴ См. А. Ферсман. Химические элементы Земли и Космоса. Л., 1927.

Явления жизни – это та часть окружающего нас мира, в которую человек проникает так глубоко, как ни в какую другую; ибо в явлениях жизни он сам составляет неотделимую от целого часть мира. Здесь он всем своим существом, дисциплиной научной и философской мысли, своим творчеством во всех его проявлениях, в том числе религиозным и художественным, охватывает и проникает своим разумом и своей личностью иным образом ему недоступные понимания Космоса.

Входя в таком аспекте в атомную структуру Вселенной, процессы жизни должны неизбежно внести в понимание мира раньше в научном охвате в нем отсутствующее новое содержание. Как же здесь проявляются процессы жизни?

Меняют ли они существенным образом научную картину мира или исчезают, как едва заметная подробность в величии целого?

Легко убедиться, что это вхождение самым существенным образом меняет картину мира не потому, чтобы жизнь в ее нам сейчас известном проявлении играла какую-нибудь исключительную по значению роль или вскрывала свойства мира по существу, помимо нашей личности – иначе нам недоступные¹, но потому, что логически ее вхождение в эту картину чрезвычайно усиливает и по-новому строит реальность наших представлений. Совершенно ясно, что реальный мир, изучаемый наукой, достигает максимальной силы представления, выражаемой в доступности необычайных следствий и бесчисленных частных наблюдаемой природы – в науках о жизни, прежде всего в науках о человеке и человечестве, т.е. в науках гуманитарных, биологических и геологических, неразрывно связанных с биосферой (§ 20 сл.).

Это методологическое значение вхождения явлений жизни в атомную научную картину Космоса прежде всего сказывается в том, что отменяет одно из тех представлений, которое играло огромную роль в точном знании, представление о *механизме Вселенной* дает опору другому представлению – представлению *об организованности Вселенной, о ее порядке*, причем для понимания и работы над такой организованностью мы можем научно выдвинуть и научно использовать одно из ее проявлений, лежащих в основе учения о жизни, – понятие о живом организме.

Что представляет собой атомная модель мира? Можно ли здесь говорить о каком-нибудь механизме?

В науке, когда мы спрашиваем себя, можно ли или нельзя называть то или иное явление тем или иным словом – это значит: насколько удобно для изучения данного явления употреблять это слово? насколько это не приводит к недоразумениям и к неясностям? – особенно, когда мы имеем дело со словами, созданными в другой обстановке – в обыденной жизни, в философской, теологической, художественной среде.

Это затруднение как раз существует для слова «механизм». Я его не раз употреблял раньше, говоря о земных оболочках, о биосфере в частности. Но в конце концов я встретился с серьезным неудобством, ибо из разнообразных философских пониманий слова «механизм» делались выводы, которые не вы-

¹ Однако вполне определенно утверждать это сейчас нельзя. Очень возможно, что жизнь – организм и совокупность организмов – по существу вскрывает новое. Соображения, например, Н. Бора заслуживают пристального внимания. О них см. *P. Jordan. Die Naturwissenschaften*, 1932, 20, p. 815 сл.

текали из природных явлений, этим словом мной – и в науке вообще – так называемых.

Противоречия и ложные понимания чрезвычайно усиливаются, когда в атомную геометрию мира входят явления жизни. Ибо жизнь неотделима от организма, а живое вещество геохимии есть совокупность живых организмов¹.

8. Понятие живого организма не может считаться тождественным с понятием механизма ни в его научном, ни в большинстве философских пониманий.

Это можно сейчас утверждать в результате векового стремления научной мысли свести явления жизни к механизму.

И в то же самое время совершенно ясно, что в атомном аспекте мира живой организм целиком входит в биосферу, в среду жизни, в этом аспекте выраженную.

Очевидно, в таком случае и неразрывно, неотделимо в первую голову в основном связанная с совокупностями организмов *биосфера не может рассматриваться как механизм*. Граница между организмами и биосферой есть граница логическая и в научном смысле не реальная. Организм фактически, реально, неотделим от биосферы. В нашей жизни мы непрерывно несем ее с собою, ибо мы являемся неразрывной и неотделимой частью биосферы. Слово «механизм» поэтому научно удобно отбросить, говоря не только о живом организме, но и о среде жизни – биосфере.

Надо приспособлять в биосфере атомную модель мира к *организму, а не к механизму*.

Делая это в одной, наиболее пока научно изученной части мироздания, неизбежно, т.е. научно удобно, переносить это представление на всю научную картину мироздания.

Это основное следствие вхождения явлений жизни в атомную модель мира.

9. Я буду употреблять для выражения существующего единства биогеохимических процессов жизни с атомной картиной мира слово *организованность*. Под этим понятием, не предвешая формы и характера организованности, а тем более их происхождения, я буду понимать существование в пространстве–времени соотношения, научно точно количественно и качественно определяемого, между организмами и той средой, в которой они живут.

Организованность обозначает, что эта среда – биосфера – не случайна, имеет определенное строение, сопряженное с явлениями жизни. Жизнь, как много раз указывалось, рассматривается в геохимии как совокупность живых организмов, как *живая природа*. Мы получаем геохимическое выражение живой природы, когда сводим совокупность организмов к их массе, к их количественному атомному составу, к их геохимической энергии, к особому состоянию занятого ими пространства, к характерным объемам (формам жизни).

10. Организованность среды жизни – части планеты – отвечает прежде всего составу жизни из живых организмов.

В этом докладе я, конечно, не могу входить в обсуждение этого явления, могу коснуться его лишь в самых общих чертах. Но считаю нужным

¹ См. прим. 2, с. 287.

отметить, что, отбрасывая представление о механизме в структуре Космоса и вводя представление о *его организованности*, я предreshаю, считаю для научной работы нашего века удобным учитывать, что *научная картина мира не может быть сведена всецело к движению, даже в своем материальном выражении*. Еще недавно такое сведение являлось идеалом научной работы.

Этот этап научной мысли уже переиден и сдан в архив – беря научную мысль в целом и в господствующей ее части – в науках биологических. Сейчас быстро к этому подходит и физическая – даже механическая – научная мысль. Философская мысль мирилась с этим недавним, но длительно существовавшим, научным идеалом, или его принимала лишь в немногих своих течениях, в общем никогда не игравших в мировой философской мысли большой роли.

11. И в научных исканиях, и в философской мысли сейчас ищутся новые представления. В научной мысли наиболее плодотворными являются точные эмпирические представления, по возможности, не заключающие гипотез, а тем более экстраполяций.

Новому создающемуся представлению о живом организме и об организованности среды, в которой живой организм находится, т.е. для биогеохимических явлений, которые изучает биогеохимия, отвечает следующая схема:

Совокупности организмов (живое вещество), для каждой морфологической формы обладающие постоянными (в пределах определенных колебаний): объемом, массой, химическим составом, термодинамическим и фазовым полями.



Биогеохимические процессы, идущие при жизни непрерывно.

Среда в состоянии организованности, т.е. биосфера – организованная определенная оболочка земной коры, сопряженная с жизнью.

12. Это течение мысли многообразно выражается сейчас как в научной, так и в философской области. Я не имею здесь времени останавливаться на философских построениях, учитывающих новые достижения научной работы. Но все же несколько слов надо сказать о них, так как среди современного бурного, здорового, полного жизни и будущности брожения философской мысли, которое все повышается в своем темпе, выявляются течения, в которых понятия организма, организации, организованности получают значение, сближающее их с теми научными представлениями, к которым приближается научная картина мира при вхождении в нее явлений жизни.

Эти течения, тесно связанные с современной научной работой, имеют глубокие корни в фитософии XVII в., частью минуют идущие к Канту более новые философские представления. В некоторых пониманиях монад лейбницаизма можно искать корни некоторых из этих течений, поскольку дело идет об их философской традиции, а не о научном содержании их мысли.

При всем значении философских представлений и философского охвата нового научного материала для современной научной работы, мне кажется,

в этом частном случае можно оставить их без внимания и опираться только на научные следствия нового взгляда на окружающую природу. Ибо в этой области прежде всего необходимо расчистить место для *быстрого создания* фактической эмпирической основы, что возможно лишь при наименьшем отходе от чисто наблюдательной и описательной научной работы и при наименьшем внедрении философских исканий.

13. В чисто научной мысли отказ от признания неизбежности сведения явлений жизни на физико-химические системы и использование проявлений жизни, как самостоятельных частей мира, приводит к важным следствиям.

Благодаря этому в научной системе мира наряду с физикой и с химией, как равные с ними, получают значение биологические науки. Такое влияние биологических наук быстро увеличивается, и многие ученые, задумывающиеся над ходом науки, например биолог Д.Б. Гальдан¹, думают видеть признаки гегемонии биологических наук в научных построениях в ближайшем будущем. Космос, научно строяемый, станет ближе к человеку.

В это течение мысли входит сейчас и биогеохимия. Изучая влияние жизни на миграцию химических элементов, т.е. атомов, она берет жизнь эмпирически, берет за исходное живой организм как таковой, не давая и не ища ему пока никакого объяснения. Это дело будущего.

Чисто эмпирическое изучение явлений должно показать, вносит ли живой организм (в своем массовом воздействии), изучаемый наравне и совместно с проявлением косной материи, что-нибудь особое в геохимические явления, или же биогеохимические процессы неотличимы от обычных геохимических.

Прежде чем давать объяснения, надо установить эмпирические факты и вывести из них эмпирические обобщения, а не вносить в нашу научную работу эти объяснения как установленный или несомненный факт или как рабочую гипотезу. Это еще рано, и мне представляется в данном случае бесполезным.

Поэтому, здесь в научной работе надо отбросить всякие объяснения, в конце концов неизбежно основанные на вере; все философские предпосылки а ргіогі, как представления виталистические, так и им противоположные. Энтелехия и тому подобное не могут сейчас иметь реального значения в науке, так как основные эмпирические обобщения для научного суждения отсутствуют. Старые философские построения отстали от богатого и мощного развития науки, и едва ли могут быть к нему приспособлены, новые создаются, но еще не созданы.

Явления жизни, в их современном научном охвате, оказываются гораздо более сложными, чем это допускают те философские о ней построения, которые играют такую большую роль в мировоззрении нашего времени, при всем их чрезвычайном разнообразии они все недостаточны.

В биогеохимии сейчас реально научно должен быть поставлен вопрос: проявляются ли или нет в явлениях жизни в научно охватываемой форме новые основные в строении Космоса проявления, которые слабо выражены или не выражены в природных физико-химических явлениях?²

¹ J.B. Haldane. Daedalus of the future of science. L., 1928.

² J.S. Haldane. Phylsoph. basis of biology. L., 1931. Ср. P. Jordan.

С этой точки зрения включение явлений жизни – через биогеохимию – в научную картину атомного строения Космоса приобретает значение и интерес не только для ученого, но для философа и для всякого образованного человека. Оно может развернуться в большую научную дисциплину.

III. ИЗМЕНЕНИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О СООТНОШЕНИИ МЕЖДУ ОРГАНИЗМОМ И СРЕДОЙ. СРЕДА ЖИЗНИ

14. На фоне этих идей получают большое значение изменения в основных представлениях биологии и геологии по отношению к среде жизни, происшедшие в текущем столетии. Долгое время биологи изучали исключительно организм, оставляя в стороне ту среду, в которой он живет и теснейшая связь которой с организмом сама собой всегда подразумевается и очевидна.

Исторически сложилось так, что в огромных отраслях биологических наук, например долгое время в систематике животных и растений, не обращали внимания на окружающую среду и описывали организмы, как самодовлеющие «тела природы». В целом ряде случаев связь с окружающей природой не сознавалась или оставлялась в научном описании без внимания.

Хотя уже в XVIII в. не раз подчеркивалось, что нельзя изучать организм *вне* той среды, в которой он живет, и что организм, рассматриваемый как самодовлеющее, не связанное с окружающей средой тело, реально не существует, представляет абстракцию, что такое изучение может приводить к выводам, вводящим в заблуждение – все же резкое отделение организма от среды – реально такое его изучение – сделалось обычным среди натуралистов XVIII–XIX столетий.

Изменение нарастало медленно¹. Оно шло, с одной стороны, от физиологов, изучавших такие процессы, неразрывно связанные с внешней средой, как дыхание или питание, и, во-вторых, оно создавалось благодаря проникновению в естествознание, в учение о живой природе с биологической точки зрения, когда изучался не отдельный отвлеченный организм, «природное тело», а проявление его жизни, если хотите, природные же тела (как биоценозы) более крупного масштаба, методологически неотделимые от среды жизни.

Уже в самом конце XVIII столетия мы видим ясное сознание невозможности отделения живого организма от окружающей его среды. Это ясно высказывал Вик д'Азир в конце века, крупный анатом, физиолог и мыслитель. Он, больше того, видел, что среда жизни имеет свои особенности, отвечает тому, что мы сейчас называем биосферой. По этому пути пошли многие.

Однако долгое время биологи изучали среду главным образом в ее воздействии на организм, оставляя без внимания обратное явление – отражение жизни на среде. Это было до нашего столетия господствующим течением.

Эти представления выразились в конце века, в начале XIX в. в натурфилософских или в научных обобщающих представлениях о происхождении под влиянием воздействия среды на организм морфологической структуры организма.

Это можно ярко видеть, правда, в разной форме, в учениях об эволюционном процессе Жоффруа Сент-Илера и Ламарка.

¹ В.И. Вернадский. Очерки геохимии, 4-е изд. 1934, с. 38 сл.

15. Только в XX в. вошло в сознание ряда биологов, что и окружающая организм среда находится в определенной организованности с живым организмом, в ней живущим.

Французские ученые, как Гуссэ¹ и англосаксы Гальдан², Гендерсон³, А. Лотка⁴, совершенно ясно отметили, что организм имеет дело со средой, к которой он не только приспособлен, но которая приспособлена к нему. Первый ярко выразил это Гендерсон. Отсюда был один шаг к биогеохимическому охвату жизни, как только к этому же времени наряду с минералогией получила прочное и ясное выражение геохимия.

Среда, которая считалась такой огромной по сравнению с организмом, например Всемирный океан по отношению к отдельному населяющему его организму, теряла этот аспект, как только вместо одного неделимого охватывалась совокупность проявления больших комплексов организмов или всей населяющей Океан жизни.

16. Это новое биологическое направление встретилось с направлением *геологической мысли*, которая, исходя из явлений, чуждых жизни, пришла к концу прошлого столетия к выделению области жизни, как геологически определенной и ограниченной части планеты. Здесь соединились два течения мысли, связанные с геологическими и географическими работами.

Геолог Э. Зюсс⁵ (1831–1914) выделил область жизни как особую оболочку земной коры – *биосферу*, и географ Ф. Ратцель⁶ (1844–1905) пришел к аналогичному заключению, исходя из других, географических соображений, говоря об особом в физическом строении планеты, об ограниченном пространстве жизни (*Lebensraum*). Идеи Зюсса глубже.

Долгое время биосфера, как специальная земная оболочка, не обращала на себя внимание. Она его получила только в XX в., когда создалась геохимия как особая научная дисциплина.

17. То изменение, которое произошло для явлений жизни заменой старого неопределенного понятия окружающей организмы *среды* понятием *биосферы*, видно лучше всего из сопоставления того представления об этой среде, которое в последней четверти XIX в. имел о ней Кл. Бернар, один из наиболее глубоких исследователей жизни в прошлом столетии. Кл. Бернар⁷ ясно сознал, как физиолог, неразрывность живого организма с окружающей его средой, но он называл эту среду *космической*, не учитывал значения самих организмов в создании этой среды, что уже делали химики А. Сьнядецкий, Либих, Буссенго, Дюма, геолог Бишоф⁸.

Очевидно, в понимании «космической» среды его времени, влияние на нее организмов при таком расширенном ее толковании должно было теряться, не могло научно изучаться.

¹ F. Houssay. La morphologic dynamique. P., 1910, p. 11; *Его же*. Force et cause. P., 1920, p. 28 сл.

² J.S. Haldane. The philosoph. basis of biology. L., 1931, p. 14, 31.

³ F. Henderson. The fitness of the environment, 1913. N. J., 1924. (pass.); *Его же*. The Order of Nature. С., 1917. Русский перевод сочинения искажен (Ф. Гендерсон. Среди жизни. М., 1925).

⁴ A. Lotka. Elements of physic, biology. Bait., 1925.

⁵ E. Süß. Die Entstehung d. Alpen. W., 1875; *Его же*. Antlitz. d. Erde. L., 1883–1909.

⁶ F. Raizel. Das Lebensraum. L., 1902. Ратцель высказал свои идеи еще в 1869 г., но неясно. Ср. H. Hussert. Geogr. Ztschr. Lpz., 1905, p. 369.

⁷ C. Bernard. Leçons sur les phénomènes de la vie. P., 1878. p. 67 сл.

⁸ В.И. Вернадский. Очерки геохимии. Изд. 4-е, 1934, с. 16, 30, 355.

Кл. Бернар, говоря о космической среде жизни, – что многократно также повторялось и биологами, особенно физиологами, – указывал, что в ней жизнь непосредственно связывается с внепланетными проявлениями Космоса. Это отчасти верно, но она связывается с *космической средой не непосредственно, а через биосферу* – определенно организованную среду, переработанную жизнью, к ней приспособленную; речь должна идти не о космической среде, а о *земной оболочке, переработанной жизнью и космическими излучениями*.

18. Зюсс, давая понятие о биосфере, ставил ее в рамки представления о *концентрических оболочках*, строящих всю планету. Биосфера была верхней оболочкой в земной коре. Эти понятия получили уточнение и углубление в последние годы и совершенно необходимы для понимания геохимии¹. Среди них надо отличать чисто эмпирические от теоретических, связанных большей частью с космогоническими идеями, последними надо пользоваться осторожно.

Последние идеи не имеют значения для области жизни, так как она принадлежит к верхней части земной коры, которую мы научно точно охватываем эмпирическим знанием.

Концентрические, физически и химически резко различные, меняющиеся с глубиной *планетные области* охватывают все вещество Земли до ее центра.

Биосфера лежит в верхней части планетной области, называемой *земной корой*, мощность которой – ниже уровня геоида – исчисляется в 60, может быть, в 100 км. Только до глубины 25–30 км от уровня геоида вещество ее доступно изучению в биосфере.

Земная кора состоит в свою очередь из концентрических областей, называемых *оболочками земной коры и геосферами*. В нее входит и газообразное вещество Земли (атмосфера).

Оболочки земной коры и геосферы установлены точно наблюдением – эмпирически. Оболочки земной коры могут состоять, из одной или нескольких геосфер.

Биосфера есть оболочка земной коры, состоящая из трех, может быть четырех, геосфер: коры выветривания (твердой), жидкой гидросферы (Всемирный океан), тропосферы и, вероятно, стратосферы (газообразной).

19. Одновременно выяснилось более четко и другое, не менее важное для понимания биогеохимии, основное геологическое представление. Оно было ярко высказано Д. Гэттоном в конце XVII столетия (1785) – это представление о существовании геологических явлений, не менявшихся в течение всего *геологического времени*².

Наше современное понимание этого явления, конечно, резко расходится с тем, которое могли иметь ученые XVIII и XIX вв. о времени по двум основаниям.

Во-первых, потому, что наше представление о геологическом времени совершенно иное; мы исчисляем его в 1,5–2 миллиарда лет, вероятно, несколько больше; тогда как эта мысль была чужда, не могла возникнуть ни у

¹ В.И. Вернадский. Биосфера. Л., 1926; Его же. История минералов земной коры. I. Пг., 1923; II. Л., 1933; Его же. Очерки геохимии. Изд. 4-е, 1934, с. 57, сл., 61.

² S. Hutton. The theory of the Earth. I–II. L., 1795. Trans. R. Soc. of Scotland, 1, E. 1788. Cp. L. Playfair: Collected papers. II., E., 1823.

Ляйелля, ни у фон Гоффа, в обработке которых вошли в науку идеи Гэттона. Оригинальный и глубокий мыслитель Гэттон и его последователь Плэйфер, не имевшие ясного понятия о палеонтологии, в их время не существовавшей, были ближе к идеям нашего времени, так как Гэттон считал, что геология нашей планеты может быть научно объяснена в самых грандиозных своих проявлениях наблюдением современно идущих, часто кажущихся мелкими и ничтожными, геологических процессов благодаря *длительности* геологического времени, и что для объяснения их нет надобности обращаться к космическим явлениям, которые в это время – и позже – являлись в истории Земли как *deus ex machina*, «объяснявшими» те или иные черты строения Земли, перед которыми казалась беспомощной эмпирическая научная мысль. Для Гэттона геологические явления были равнозначны (в аспекте времени) с космическими.

Во-вторых, потому, что приходится разделять геологические явления – неизменные во времени, выдвинутые Гэттоном в его «теории Земли», и такие, которые резко во времени меняются (которые особенно изучались в XIX столетии) и проявились чрезвычайно резко в эволюции органического мира в ходе геологического времени.

Все оболочки земной коры и геосферы во всех своих основных чертах относятся к неизменным во времени – геологически вечным – чертам строения планеты¹.

20. Для биогеохимического исследования неизменно морфологически меняющейся жизни это обстоятельство имеет первостепенное значение. Оно указывает, что в структуре биосферы, неразрывно связанной с жизнью, преобладают геологически вечные явления, существование которых должно проявляться и в явлениях жизни.

Изучение явлений жизни в биогеохимическом аспекте должно дать возможность поэтому проникнуть в геологически вечные черты строения жизни организмов и их совокупностей – видеть ту сторону жизненных явлений, которая в современной биологии часто оставляется без внимания, так как биология останавливается главным образом на резко преходящих в геологическом времени явлениях жизни – явлениях эволюции ее форм.

IV. ЗАМЕЧАНИЯ О БИОСФЕРЕ²

21. Как ясно из схемы § 10, биогеохимические явления должны проявляться в живых организмах и в биосфере неразрывно и одновременно.

Изучая с биогеохимической точки зрения организмы, мы сталкиваемся, само собой разумеется, в основе с проблемами биологическими. С этой точки зрения нас должен интересовать количественно выраженный атомный химический состав организмов³, их размножение и рост, поскольку они касаются их геохимической энергии⁴, их вес, объем, состояние занятого ими пространства.

¹ Об этом см.: *W. Vernadsky. Tschermak's Mineral.-Petrograph. Mitt. W., 1933, p. 171 сл.*

² *W. Vernadsky. La biosphère. P., 1929.* Французское издание исправлено (русское: Биосфера. Л., 1926).

³ *В. Вернадский. Тр. Биогеохим. лаборатории, 1930, I, с. 5.*

⁴ *В. Вернадский. ИАН, 1926, с. 700, 1053; Его же. 1928, с. 583 сл.*

Биогеохимия должна выразить и характеризовать все разнообразные морфологические подразделения организмов в числах, отвечающих этим их свойствам. Многочисленные чисто биологические явления связаны с этими вопросами. Но в то же время можно и нужно изучать с биогеохимической точки зрения и биосферу.

Я остановлюсь сегодня только на основных задачах биогеохимии по отношению к биосфере, и то в самых общих чертах.

Необходимо отметить, что *наши знания о биосфере и о ее содержимом резко отличаются от всякого другого знания*, так как мы живем в биосфере и ощущаем ее всем своим существом. Все передается нам через биосферу. Выше и ниже ее человек может проникать только логическим путем, разумом. Через нее он охватывает космический мир, преломленный в биосфере. И так же преломленными в биосфере он может изучать глубины планеты, лежащие ниже земной коры.

В сущности человек, являясь частью биосферы, только по сравнению с наблюдаемыми на ней явлениями может судить о мироздании. Он висит в тонкой пленке биосферы и лишь мыслью проникает вверх и вниз.

22. Биосфера принадлежит к той области нашей планеты, где могут существовать в устойчивом состоянии все три физических состояния вещества – *твердое, жидкое и газообразное*, столь характерные и одновременно необходимые для проявления жизни.

Очень часто забывается, что существование на нашей планете трех физических фаз вещества, кажущееся нам столь самопонятным, есть *исключительное явление*, характерное только для земной коры, ограниченное узкой земной областью в немногие десятки километров, непрерывно сплошь облегающей геод, основная масса которого этим свойством не обладает. Это не менее важное для характеристики земной коры явление, чем ее разнородность, ее положение выше уровня изостазии.

При таком понимании земной коры необходимо включить в нее и *стратосферу*, область которой как раз захватывается сейчас человеком, т.е. реально включается им в область жизни, в биосферу. Эта область планеты характеризуется не только существованием трех фаз вещества – только в нее проникает и космическая энергия из небесных просторов.

За верхние пределы земной коры надо принимать при таком ее понимании верхние части стратосферы, Хивесайдов слой, и начинающуюся за ними так называемую *свободную атмосферу* – на высоте 70–80 км¹, а нижним пределом будет изостатическая поверхность, на глубине от уровня геоида не меньше 60 км, где давление превышает 30 000 атм (см²) и где вследствие этого – при относительно не чрезмерной температуре (немногие сотни градусов самое большее?) – различие между фазами вещества – жидкой, твердой и газообразной – исчезает.

Вещество здесь находится в особом пластическом состоянии, конкретно представить себе которое мы не можем. На верхней границе стратосферы находится физическая пустота с небольшим количеством рассеянного вещества и корпускул космического происхождения (ионосфера).

¹ Уже после произнесения этой речи установилось понятие *ионосферы* для этой оболочки.

23. Стратосфера связана с биосферой – с жизнью – и по своему составу, который в общем отвечает нашему воздуху, состоит из кислорода и азота, все более разреженных по мере того как мы отдаляемся вверх от уровня геоида.

Но она еще глубже связана с жизнью; она связана скоплением и созданием в ней *озона*, по существу биогенного и в то же время определяющего возможность существования жизни.

Концентрация озона, рассеянного в разреженном газе (общая масса его составила бы в чистом виде слой в 3–6 мм) сосредоточивается на высоте около 25 км и выше (давление десятка миллиметров ртути на квадратный сантиметр и ниже) – является ярким примером организованности биосферы и ее приспособленности к жизни. Ибо только слой с таким содержанием озона – этот слой был назван Фабри и Бьюссоном *озоновым экраном* – делает возможным существование жизни на нашей планете, ибо он всецело поглощает губительные ультрафиолетовые лучи, идущие из Солнца и космических просторов, короче 200 мкм, которые убивают все живое. Без озонового экрана жизнь была бы невозможна, но сам озоновый экран мог образоваться только при нахождении в земной атмосфере свободного кислорода, который является продуктом жизни. Жизнь сама как бы создает себе защиту¹ – один из многих примеров приспособленности, при участии жизни, биосферы для жизни, так ярко указанной Л. Гендерсоном².

Едва ли можно сомневаться, что озоновый экран не есть случайность, а есть результат известной организованности земной коры, того порядка природы, который наш ум в ней выявляет.

Мы сразу встречаемся здесь с явлением, которое очень характерно для биогеохимии. Жизнь не может существовать без озонового экрана, но озоновый экран создается из свободного кислорода, продукта жизни. Как же создалась такая организованность? Сейчас мы этого не знаем, но разрешить загадку может только научное наблюдение и научный опыт, а не умозрение. Это дело будущего.

Отдаленные проявления жизни в явлениях стратосферы при теперешнем состоянии биогеохимии могут быть оставлены временно вне ее поля зрения, так как совершенно почти не охвачены научной работой ее ближайшие проблемы, без которых невозможна в ней настоящая научная работа и подход к решению биогеохимических проблем стратосферы. В дальнейшем выяснится, каково положение озонового экрана в биогеохимической организованности биосферы.

24. Сейчас я оставляю в стороне как стратосферу и озоновый экран – своеобразную форму проявления в ней жизни, так и те проявления жизни, которые наблюдаются ниже биосферы в более глубоких оболочках земной коры, ниже стратосферы, в *метаморфической оболочке*, куда жизнь переносит в виде органогенных минералов космическую энергию Солнца³. Я остаюсь только на биосфере⁴.

¹ В. Вернадский. Биосфера. Л., 1926, с. 16, 111.

² L. Henderson. The fitness of life. 1913. N. Y., [2-е изд.], 1924, p. 249 сл.

³ В.И. Вернадский. Очерки геохимии. 4-е изд. 1934. С. 207–208.

⁴ Новые работы показали, что живые микроорганизмы, аэробные и анаэробные, играют большую роль в некоторых частях стратосферы. См. В.И. Вернадский. I, с. 1934, с. 355.

Однако нельзя забывать, что такое ограничение предмета исследования есть искусственный прием, есть временно удобное упрощение большого природного процесса в порядке научной работы, рассечение единого целого, исходя из заданий, с природным процессом логически не связанных.

В действительности и создание озонового экрана в стратосфере и создание органогенных горных пород – углистых, углеводородистых или карбонатов в стратосфере и в метаморфической оболочке – неотделимо от проявлений жизни в биосфере и определяет организованность всей биосферы. Рассмотрение этих процессов есть дело будущего. В текущей работе необходимо выделить те темы, которые кажутся наиболее важными или наиболее доступными, стоят на очереди.

При создании нашей Биогеохимической лаборатории следующие темы казались наиболее важными. К части их удалось подойти. Это следующие темы:

1. Формы нахождения жизни в биосфере – концентрация и рассеяние жизни.
2. Диссимметрия пространства, занятого носителями жизни в связи с пространственной неоднородностью биосферы.
3. Газовая функция жизни в связи с созданием тропосферы.
4. Концентрация жизнью радиоактивной энергии в биосфере.

Одну проблему, о значении человечества в биосфере, я оставляю в этом очерке в стороне и надеюсь вернуться к ней в другом месте. Я оставляю пока в стороне и ряд других важных, но менее общих проявлений жизни в биосфере: ее значения в создании поверхностных и части подземных вод, ее значения в создании биогенных минералов и горных пород, в создании почвы и подпочвы, ее значения в организованности химических процессов выветривания, т.е. воздействия тропосферы и жизни на твердую часть литосферы, входящую в биосферу.

Наконец, оставляю в стороне те огромной важности проблемы, которые должны количественно определить планетные константы жизни: вопрос о массе живого вещества в биосфере и его геологической вечности, вопрос о среднем количественном атомном составе живого вещества в биосфере и его геологической вечности. Еще много надо предварительной работы, прежде чем можно будет точно решить эти проблемы, но пытаться решить их мы должны уже сейчас.

Из этого простого перечисления ярко видно значение в организованности нашей планеты того явления, которое мы называем жизнью и проявлением которого являемся и мы сами и наша мысль.

V. КОНЦЕНТРАЦИЯ И РАССЕЯНИЕ ЖИЗНИ В БИОСФЕРЕ

25. Жизнь в биосфере различно выражена в пяти фазовых геосферах, которые можно в ней различить: в жидкой, в твердых и в газообразных¹. Чрезвычайно характерна диссимметрия – индивидуальное, неповторяемое земное явление – в распределении в биосфере фазовых геосфер.

¹ См. В.И. Вернадский. I, с. 1934, с. 56–51.

Жизнь в газообразных геосферах (главным образом в тропосфере) всегда проявляется временно: нет живых форм, которые всегда непрерывно находились бы — «жили» — только в ней. Это в подавляющем числе случаев временно поднимающиеся в тропосферу организмы суши. Суша через тропосферу в проявлениях своей жизни в биосфере ярко выступает на первое место: так, например, организмы суши через тропосферу коренным образом меняют историю воды в биосфере¹.

Помимо резкого биогеохимического различия морской жизни (в гидросфере) и жизни суши (в коре выветривания и стратисфере), мощность пространства, занятого жизнью, в обоих случаях резко различна. В Океане ниже уровня геоида живые существа с их биогеохимическим эффектом должно быть проникают глубже 10,3 км; их существование доказано на глубинах больше 6 км; в среднем здесь жизнь идет в слое вещества мощностью в 3,8 км. Гидросфера по массе охватывает большую часть живого вещества, отвечая около 79% поверхности планеты. Но водная жизнь лишь косвенным, сложным путем связывается с газовым строем планеты, об огромном биогеохимическом значении которого я еще буду сегодня говорить. Чрезвычайно также характерно, что эта океаническая жизнь соприкасается с совершенно другими геосферами, чем жизнь суши, и вызывает совершенно другие химические процессы, концентрирующие и запасающие космическую энергию Солнца. Под биосферой в областях Океана лежат массивные породы, изредка кислые, а главным образом основные; подходит к дну Океана базальтовая геосфера, на многие километры отстоящая от коры выветривания.

Жизнь суши нигде не охватывает таких мощных пространств в вертикальном разрезе, как это наблюдается в гидросфере. Обычно охваченный жизнью слой биосферы не превышает нескольких метров, десятков метров. В глубь от поверхности суши жизнь, однако, в подземных водах и нефтях идет до глубин, много превышающих 1,3 км, захватывает стратисферу.

26. Чрезвычайно характерной чертой распределения жизни в биосфере является: 1) ее исходность, 2) ее рассеянность и 3) ее концентрация в очень тонких по сравнению с мощностью биосферы пленках, нередко сплошь покрывающих сотни тысяч квадратных километров, например всю поверхность океана (планктонная живая пленка).

Благодаря подвижности организмов, достигающей огромных скоростей передвижения, увеличивающихся сейчас успехами человеческой техники, благодаря еще большей скорости размножения организмов — жизнь охватывает всю и влияет на всю биосферу: везде в ней — в достаточной длительности времени — может встречаться живой организм.

Всюдность жизни в этом смысле характеризует биосферу. В то же самое время каждый организм является самодовлеющим целым, отдельным и независимым от других. Каждый организм является в биосфере активным нарушителем ее энергетического и материального строения. Можно с энергетической точки зрения назвать организмы *энергетическими биоцентрами*.

Нахождение энергетических биоцентров в биосфере имеет две разные формы проявления, непрерывно наблюдаемые в течение всего геологическо-

¹ В.И. Вернадский. История минералов земной коры. II. История природных вод. Л., 1933, с. 42 сл.

го времени, т.е. в течение не менее 1,5–2 миллиардов лет, всегда в биосфере одновременно существующих. Во-первых, рассеянные, одиночные или многочисленные находения среди косной природы – среди основного материального субстрата биосферы – и, во-вторых, находения многочисленных организмов, собранных в определенные биоценозы или сгущения в определенных частях биосферы.

27. Формы распределения биоцентров в биосфере, концентраций и рассеяний жизни не меняются в своих основных чертах и в местах своего расположения в гидросфере и на суше, несмотря на происходящее в течение хода геологического времени резкое и непрерывное изменение морфологической структуры составляющих их организмов. Их распределение представляет независимую от геологического времени, геологически вечную черту строения биосферы.

В пленках и сгущениях, мощность которых в предельном случае (для береговых сгущений) превышает сотню–другую метров, собирается наибольшая масса живых организмов. Мощность этих пленок обычно исчисляется в метрах, в десятках, реже в сотнях метров. Но благодаря огромной геохимической энергии и всюдности жизни биогеохимический эффект сгущений жизни огромен. Можно различить следующие важнейшие сгущения:

А. Гидросфера (где сосредоточена максимальная масса жизни)

1. Планктонная пленка (по всей поверхности Океана).
2. Бентосовая пленка (по всему дну Океана; площадь ее значительно больше площади планктонной пленки).

3. Саргассовые сгущения.

4. Береговые сгущения.

Б. Суша (кора выветривания)

5. Биоценозы наземные.

6. Почвенные сгущения.

7. Сгущения стоячих водоемов.

Разнообразие типов пленок и сгущений жизни огромно. В них сосредоточена подавляющая часть жизни. Очевидно, изучение этих концентраций жизни является основной задачей биогеохимии, без хотя бы предварительного суммарного охвата которых невозможно ее научное утверждение.

28. Этот биогеохимический охват должен быть выражен количественно. Он слагается в первом выражении из следующих количественных данных: 1) количественного, атомного, химического состава отдельных живых организмов этих сгущений и всего живого вещества сгущений; 2) их веса; 3) процентного объема и весового содержания их в окружающей косной среде; 4) химического состава вне жизни находящейся среды сгущений (их косного вещества) и 5) общего валового состава количественного, химического, атомного, одновременно среды и заполняющих их организмов – в среднем его учете. Эти данные сейчас почти нацело отсутствуют, кроме неполных, скудных в общем, валовых данных для почв и для вод.

Для почв, организмов и сред – почвенных сгущений в целом – эти данные, даваемые химическими анализами почв, явно не отвечают действительности, так как они почти всегда выражены по обычным результатам анализов в процентах окислов и дают, следовательно, преувеличенное понятие об их кислороде. Для вод наши данные односторонни, ибо для воды сгущений

жизни, кроме мельчайших организмов, при анализе неотделимых, живые организмы не входят в средние числа водных анализов. К тому же химических анализов воды сгущений, а не бедной жизнью основной воды водоемов, нет. Почти отсутствуют данные о химическом составе самого живого вещества сгущений¹. Можно, однако, думать, что так как биоценоз, который его составляет, есть геологически вечное неизменное явление, то таким же будет и химический состав для его организмов, несмотря на резкое морфологическое изменение их в ходе геологического времени. Можно думать, например, что планктонная пленка океанов, в ее живой части, является неизменной в своем химическом составе в течение всего геологического времени.

29. Исходя из этих соображений, наша лаборатория поставила своей задачей с первого же года существования получение таких данных. Мы остановились на планктоне, исходя из того соображения, что для Океана, т.е. для гидросферы, планктон является одним из основных условий существования всех остальных организмов Океана. Поэтому можно было думать, что планктон будет такой же основной, количественно постоянной, чертой гидросферы, какой является солевой состав океанской воды.

Мы не смогли из-за недостатка средств и оборудования поставить эту работу на должный научный уровень. Все же в конце концов мы получили первые точные числа для одного из пресноводных озерных планктонов и для главной части одного из морских планктонов Мурманского моря². Получение этих чисел стоило нам больших усилий, о которых давно забыли ученые, работающие в хорошо устроенных лабораториях. Но все же числа, за точность которых мы можем отвечать, мы получили. Это пока единственные данные в литературе³ и, что еще важнее, они для морского планктона доказали постоянство его состава. Вот эти числа анализов А.П. Виноградова в весовых процентах:

**Зоопланктон (*Calanus finmarchicus*)
Мурманского моря**

	1930	1930	1931		1930	1930	1931
	Екатери- нинская гавань	Море	Море		Екатери- нинская гавань	Море	Море
O	79,99	—	—	P	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$
H	10,26	—	—	Ca	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$
C	6,10	—	—	Mg	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$4,4 \cdot 10^{-2}$
N	1,52	1,65	1,51	Fe	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	—
Cl	1,05	1,18	1,07	Si	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	—
Na	$5,4 \cdot 10^{-1}$	$6,5 \cdot 10^{-1}$	—	Br	$9,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	—
K	$2,9 \cdot 10^{-1}$	$2,9 \cdot 10^{-1}$	—	J	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$	—
S	$1,4 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$				

¹ В.И. Вернадский. Тр. Биогеохим. лабор., 1930, I, с. 5.

² А.П. Виноградов. ДАН СССР, 1929, с. 41; *Его же*. Тр. Биогеохим. лабор., 1930, I, с. 33.

³ W. Vernadsky. Tschermak's Mineral. Petrograph. Mitteilungen, 1933, 44, p. 191.

30. Ясно, что надо идти дальше и энергичнее по проложенному пути. Я надеюсь, что Академия наук реально нам поможет, так как уже есть результаты, интерес которых ясен для океанографа, биолога и гидробиолога. Надо организовать с этой целью систематический сбор планктона наших морей и Океана. Пока нам не удалось получить материала и для пресноводных планктонов в достаточном размере. Правильная постановка дела требует превращения нашей лаборатории из старомодной и захудалой в настоящую лабораторию нашего времени – в научно мощную лабораторию.

Получив сразу результаты, отвечающие ожиданиям, я убежден, что мы нужную поддержку получим. Конечно, ясно, что по этому пути пойдут другие. Но не безразлично для страны, чтобы работа, успешно начатая в ее среде, здесь же получила нужное развитие. Работа над планктоном по выработанному плану продлится несколько лет для получения главных результатов.

Мы с этого года переносим, если добудем средства, ту же работу на сушу, на те живые пленки биосферы, которые представляют поля культурных растений. Эти анализы стоят в связи с вопросом о радиоактивности, о чем я буду говорить дальше.

VI. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ БИОСФЕРЫ. ДИССИММЕТРИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА

31. В строении биосферы есть очень яркая и глубокая особенность, связанная с явлениями жизни, которая до сих пор нигде в другой области на нашей планете не встречена. Пространство, охваченное живым организмом, обладает особым состоянием, которое было неудачно названо Л. Пастером *диссимметрией*.

В полях жизни, т.е. внутри тела живых организмов и в меньшей степени в остатках соединений, из них происходящих, в органогенных минералах, в которых сохранились продукты, выработанные жизнью, резко проявляется преобладание правых или левых явлений. Обычно правых. Это преобладание нередко таково, что для того же самого вида организма или даже для одного и того же индивида, для одних явлений преобладает правизна, для других – левизна. Это отсутствие тождественности правизны и левизны проявляется не только в свойствах материальной среды, но и в физиологических функциях организмов, например в их питании, в движениях. Красной нитью через все, соприкасающееся с организмом, проходит – в бесчисленных самых разнообразных формах – это свойство живого вещества в такой степени, что совершенно законно и точно можно говорить об особом состоянии пространства, занятого организмом в процессе жизни, или же об особом свойстве жизни делать заметными право-левые свойства пространства биосферы, которые другими природными явлениями в ней не вскрываются. Какое из этих двух возможных объяснений верно – это первая задача, которую может и должно разрешить биогеохимическое изучение жизни. *Отлично ли реальное пространство живого от косной природы или же все пространство биосферы одинаково диссимметрично, но жизнь может делать видными в ней такие свойства, которые не проявляются в изучаемых нами физико-химических явлениях?* К этому последнему пониманию склонялся Пастер. Очевидно, решение этой проблемы имеет огромное не только научное, но и философское значение, но оно может быть дано только научным опытом и наблюдением.

Правизна и левизна проявляются в жизненных явлениях как в случаях, связанных с кристаллохимическими процессами, так и в случаях, от них независимых, как, например, та правизна и левизна, всем известная, которая так характерна для организма человека. Это явление выражается в самых глубоких процессах организма: в клетке, в зародыше, в яйце и в живчике, еще глубже – в строящих организм соединениях. Когда эти тела кристаллизуются, можно различать их правые или левые кристаллические решетки, когда это тела коллоидальные, аморфные или жидкие, можно видеть их оптическую вращающую способность или особую структуру холестерических и подобных им отвечающих форм. В обоих случаях эти явления сводятся на винтовое, спиральное правое или левое распределение атомов. В кристаллах, в коллоидах, в жидкостях, созданных жизнью, отсутствует центр и плоскость симметрии. Это явление, однако, не связано с кристаллической симметрией, ибо в противоречие с ней тождественность правых и левых антиподов исчезает – появляется нарушающая симметрию или вскрывающая ее своеобразная причина – жизнь; наблюдается резкое преобладание одного из антиподов, правого или левого, – такое строение выявляющее. Правизна или левизна организма нарушает симметрию таких тел.

Основываясь на этом частном случае нарушений кристаллической симметрии, Пастер и назвал это явление диссимметрией. В биосфере такие свойства наблюдаются только в организмах и отражаются в уменьшенном виде в некоторых органогенных минералах. В прочем косном веществе биосферы их нет. Неизвестны они и в других земных оболочках.

32. Эмпирически в биосфере можно различать две, вернее, три разные материальные среды, три состояния отвечающего ей пространства. Пространство, занятое биосферой, представляется разнородным: во-первых, пространство живого вещества с резко выраженной правизной или левизной, характерной и определенной в пределах вида организмов или другой их морфы. Один из антиподов преобладает; рацемические разности тел редки, а вероятнее, не существуют. По-видимому, в пределах морф индивидуально существуют всегда оба антипода, но в резко разном количестве. Все живые организмы отвечают такому пространству. В сгущениях жизни в биосфере, например в планктонной пленке, оно преобладает (или жизнь делает это свойство пространства особенно видным).

Другое состояние пространства отвечает некоторым органогенным минералам, минералам углеродистым, всегда являющимся продуктами жизни: нефтям, углям, асфальтам, гумусам. В них разделены антиподы, и это выражается в том, что в природных физико-химических процессах ход реакций вправо и влево различен, как это может быть выявлено, например, на фигурах разъедания этими телами сторонних жизни природных кристаллов, обладающих центром или плоскостью симметрии. В биосфере нам неизвестны отдельно собранные антиподы, правые или левые, которые образовались бы вне участия жизни. Они разделены только в этих остатках жизни, где сохранились неразрушенными тела, образовавшиеся в то время, когда организмы, давшие органогенные минералы, жили. В этой уже мертвой среде, в каменном угле, например, новые проявления диссимметрии уже не возникают; этим они отличаются от состояний пространства, характеризующихся жизнью.

И, наконец, все остальное косное вещество, строящее биосферу, не дает никакого указания на отличие правизны от левизны. Это третье состояние пространства в биосфере.

33. Особое состояние пространства, занятого жизнью, в биосфере, распространяется на пространство–время. До сих пор неизвестно ни одного случая, где бы такие состояния пространства были получены какими-нибудь не связанными с жизнью, геологическими процессами. Согласно принципу Реди¹, организмы, размножаясь, создают новые отдельные. – в общем мелкие, в совокупности значительные – части такого пространства. Размножение организмов есть единственный источник его появления в биосфере. Так создается непрерывность этого пространства во времени: оно непрерывно возрождается, создается в биосфере из себя.

34. Научная теоретическая мысль только подходит к области этих явлений. Это почти непочатое поле процессов, которые мне представляются затрагивающими основные проблемы естествознания. В физике крупнейшим обобщением здесь является обобщение П. Кюри, приводящее к понятию *о состояниях пространства*. Оно гласит, что всякое диссимметрическое явление может произойти только от геометрически такой же диссимметрической причины. В основе – это эмпирическое положение, но по своей общности и отвлеченности оно должно для натуралиста в его реальном мире иметь значение *аксиомы*. Путь, проложенный Кюри, остался нетронутым.

К сожалению, вопрос о правизне и левизне в общей форме и в форме органогенной диссимметрии еще менее глубоко охвачен философской мыслью и математическим анализом, даже в его обычной, выявленной учением о кристаллической симметрии форме, чем столь мало философией затронутая проблема симметрии.

Прав один из немногих геометров, занимавшийся этим вопросом с геометрической точки зрения, Эдуард Штуди², указывающий, что это явление имеет в основе для нас аксиоматический характер; может быть, поэтому оно не было учтено в философской критике понятия пространства и в математическом его понимании. Но едва ли может быть сомнение, что упущение в философской мысли свойства Космоса, выражающегося в правизне и левизне пространства–времени, столь основное, что оно должно сказываться на всех выводах философии и метафизики природы и ослаблять реальное значение этих выводов для натуралиста.

35. Для биогеохимии эта проблема разнородности пространства биосферы или выявления жизнью такого свойства пространства биосферы, которое не отзывается в других физико-механических и химических способах ее изучения – имеет первостепенное значение и не может быть оставлено в стороне.

Что значит для системы разнородных равновесий, к законам которых могут быть сводимы биогеохимические процессы, резкие проявления одного из антиподов, *проявления правизны или левизны в продуктах реакций*? Это значит, что в них играет наряду с температурой, давлением, с химическим составом, с фазой вещества, как равноценный фактор, влияющий на ход процесса – органическая диссимметрия Пастера. Общность явлений заставляет

¹ В.И. Вернадский. Очерки геохимии. Изд. 4-е, 1934, с. 209.

² E. Study. Archiv d. Mathem. u. Physik, 1914, 21.

думать, что *этот аспект биогеохимических процессов, т.е. существование для них особого нового параметра физико-химических равновесий, отличает их от обычных геохимических процессов.*

Поэтому вопрос о диссимметрии жизни был поставлен нашей лабораторией при самом ее зарождении, но, к сожалению, мы не могли до сих пор получить, несмотря на наши старания, нужных средств, в сущности небольших, для того чтобы поставить эту работу.

Для первоначальной работы их надо немного: сейчас это девственное поле работы и прежде всего надо выявить, что известно. *Никто этого не знает*, так как огромный рассеянный в литературе запас случайных наблюдений не собран и не систематизирован. Нельзя, конечно, считать удобными для нашей работы издания вроде сводки Т. Кука¹ (1912), где этот вопрос затронут случайно. К этому году вышла новая важная сводка о правизне и левизне в животном царстве зоолога В. Людвига². Несмотря на ее неполноту, мне кажется, со мной согласится всякий биолог, что книга эта имеет большое значение, ибо она вскрывает впервые глубину, общность, разнообразие этих проявлений в строении и биологии животных, их по существу загадочность, манящую мысль.

Такая же работа должна быть сделана в *аспекте биосферы*. Никогда еще этого не делали, но, насколько я вижу из имеющихся данных, мы встретимся здесь с явлениями очень большого значения.

Наряду с этой сводкой, исполнить которую важно, есть другая проблема, требующая неотложного решения, – это выявление опытом и наблюдением *смены правизны и левизны в обычный период одного и того же вида* или в разных *биоценозах* или в разном *времени*, в частности времени геологическом. Есть ряд фактов, на которых я здесь останавливаться не могу³, которые указывают, что *один и тот же вид в течение геологического времени меняет свой право-левый характер* и в то же время есть ряд указаний, когда для одного и того же водоема для водных организмов резко менялся в историческое время правый характер на левый и обратно.

Эти явления имеют огромный интерес с точки зрения биосферы, ее организованности, и, может быть, они связаны с большими биосферными процессами, в которых не исключена возможность и проявлений космических. Мы видим на этом явлении, что изучение биогеохимии может внести новые выявления и новые проблемы не только в исследование жизни, но и в исследование строения Космоса. То же ясно сказывается и в другой области, к которой я перехожу, – в газовом проявлении организмов в биосфере.

ВИИ. ГАЗОВЫЕ ФУНКЦИИ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА. СОЗДАНИЕ ТРОПОСФЕРЫ

36. Своей жизнью живые организмы непрерывно вызывают огромные перемещения – миграции химических элементов, отвечающие массам вещества, во много раз превышающим массу самого живого вещества. Составляя небольшие доли процента по весу вещества биосферы, взятого в целом,

¹ T. Cook. The curves of life. L., 1914.

² W. Ludwig. Das rechts-links Problem in Tierreich. L., 1932.

³ Ср. Вернадский. ИМЕН, 1931, с. 639 (по-французски, с изменениями: Revue générale des sciences. P., 1932).

живые организмы вызванным им движением охватывают все вещество биосферы. Эту способность живых организмов вызвать движение вещества биосферы я буду называть их *геохимической функцией*. Точное количественное и качественное, возможно полное выяснение геохимических функций живого вещества в биосфере, *биогеохимических функций* биосферы, является основной задачей биогеохимии.

Функции эти очень различны¹. Среди них есть функции, характерные для отдельных организмов, для определенных их видов; например, *кальциевая функция*, связанная со всеми организмами, имеющими кальциевый скелет или строящими кальциевые аппараты.

Эти организмы вызывают энергичную миграцию атомов кальция их окружающей среды, извлекают их оттуда и концентрируют в своем теле и в своих биоценозах в процентном по весу содержании в количествах, превышающих среднее его нахождение в среде жизни².

Для ряда химических элементов – для железа, марганца, магния, азота, углерода, фосфора, серы, йода, ванадия, брома и т.п. – организмы являются такими концентраторами, они меняют этим путем геохимию этих элементов. Еще большее значение имеют такие биогеохимические функции, которые охватывают все живые вещества, а не отдельные его семейства – функции, неизбежно связанные с основными процессами жизни организма – с питанием, дыханием и с умиранием.

Среди функций этого рода обращает особое внимание *газовая функция*, связанная с выделением и с поглощением организмами определенных газов, так как она чрезвычайным образом отражается в строении биосферы. Она связана [и] с дыханием, и с питанием, и с умиранием всех организмов. *Она в действительности строит земную атмосферу – тропосферу.*

37. Связь жизни с атмосферой сейчас в науке – общее место. Нет в биосфере проявлений жизни без дыхания. Вернее – без дыхания, несомненно, нет проявлений ее размножения или движения. А в размножении мы имеем наиболее яркое проявление геохимической энергии живого вещества. Без него биогеохимические процессы чрезвычайно сокращаются. Без дыхания – газового обмена – некоторые формы организмов могут существовать в виде латентной – скрытой жизни, но биогеохимического эффекта такая жизнь не производит. Очень возможно, что газовый обмен целиком не является прекращенным даже здесь – он только замедлен и ничтожен. Связь живых веществ с тропосферой – благодаря дыханию и распадению после смерти на газы – была глубоко и ярко определена в 1844 г. в блестящих лекциях в Париже И. Буссенго и И. Дюма о статике жизни. Они выразили эту связь в афоризме: *жизнь может быть рассматриваема как придаток атмосферы*³. Из нее она получает главную часть своего вещества и в нее в виде газов возвращает подавляющая часть вещества организмов после их смерти.

Эта теснейшая связь с атмосферой (тропосферой) отражается, может быть, и на том, что в некоторых явлениях жизни – в скоплениях живых организмов – в живом веществе геохимии – проявляются некоторые свойства

¹ В.И. Вернадский. ИМЕН, 1931, с. 645.

² В.И. Вернадский. Очерки геохимии. Изд. 4-е, 1934, с. 202.

³ J. Dumas et S. Boussingault. Essai de statique chim. des êtres org. P., 1844, p. 45–46.

газовой фазы вещества¹. Это сказывается и в том, что в борьбе организмов за существование, в конце концов, борьба за газ, нужный для дыхания и питания, и стоит на первом месте для большинства из них².

38. Жизнь несомненно, однако, больше чем придасток *атмосферы*. Она активно меняет *тропосферу*, строит ее вещество, охватывает всю ее химию. Медленно, но неуклонно с ростом геохимической работы такое значение жизни выступает все более резко и определенно.

Одна из составных частей тропосферы – вторая по массе – *свободный кислород*, почти нацело, поскольку можно сейчас судить, образуется живыми организмами, есть в подавляющей массе биогенный продукт. Все другие способы его происхождения в биосфере отходят на второй план³.

Жизнь создает свободный кислород различным путем, но основной процесс связан с созданием органического вещества, т.е. соединений углерода, водорода и кислорода, строящих все организмы, все их тело, начиная с протоплазмы. Кислород, углерод, водород берутся главным образом из углекислоты и паров воды атмосферы, из растворов CO_2 и ионов CO_3 и HCO_3 в природных водах. Основной процесс идет фотосинтезом, главным образом за счет лучистой энергии Солнца. Главным деятелем являются хлорофильные зеленые растения.

Фотосинтезом свободный кислород выделяется главным образом из двух соединений, исключительных по своему положению в биосфере, какими являются углекислота CO_2 и вода H_2O . Эти соединения имеют общим то, что они очень обычны и наблюдаются в большом количестве в биосфере и что они постоянно синтетически получают в процессе жизни – во всех живых организмах без исключения, путем биохимических реакций.

В биосфере, частью в свободном состоянии – в газовых массах, частью в растворах и природных водах (или нефтях), частью в окклюзии в горных породах, непрерывно находится определенная масса свободного кислорода в состоянии динамического равновесия, постоянно уходящая и создающаяся. Она равна довольно точно $1,5 \cdot 10^{21}$ г и представляет геологически вечную черту биосферы, планетную константу. Кислород должен был так происходить на протяжении всего геологического времени. Ибо в пределах этого времени мы не имеем никаких указаний на его иное происхождение. По-видимому, его концентрация в тропосфере оставалась все время очень близкой к современной, ибо к ней приспособились все наземные организмы – и к отвечающей ей водной атмосфере⁴, т.е. к растворенным в природных водах газам, все водные организмы. Что значит «приспособились», когда речь идет о приспособлении организмов в таком масштабе и в такой независимости от морфологических их свойств? Это значит, что явление существует в общем неизменно в течение геологического времени. Для свободного кислорода тропосферы биогенное его происхождение является основным процессом. Это значит, что основная часть тропосферы, больше четверти ее по весу, образована жизнью.

¹ В.И. Вернадский. Биосфера. Л., 1926, с. 29 и пр.; *Его же*. ИМЕН, 1927, с. 704, 722.

² В.И. Вернадский. I, с. 1926, с. 46; 1927, с. 726.

³ В.И. Вернадский. Очерки геохимии. Изд. 4-е, 1934, с. 41.

⁴ Об этом термине см.: В.И. Вернадский. Природные газы. II. Л., 1931, с. 15; *Его же*: Mineral.-Petrograph. Mitteilungen, 1933, 44, p. 176.

39. Очевидно, факт этот не может не возбуждать к себе самого пристального внимания. Тропосфера по своему химическому составу чрезвычайно проста. Беря газы, которые наблюдаются в количествах, больших 0,01% (по объему), мы имеем для них в порядке убывающей распространенности:

N_2	O_2	H_2O	Ar	CO_2
78,03	20,99	1,0	0,93	0,03

40. Очевидно, биогенное происхождение свободного кислорода в тропосфере должно ставить вопрос об *отношении жизни к образованию самой тропосферы газовой оболочки планеты.*

Вопрос этот редко ставился до сих пор только потому, что не было ясного понимания мощности жизни в масштабах биосферы. С жизнью, однако, надо считаться даже в масштабе целой планеты. И, во-вторых, потому, что не подвергались достаточно глубокому эмпирическому научному анализу наши представления о создании газообразных оболочек холодных космических тел, каким должна считаться – на фоне термического строения Космоса – наша Земля и, вероятно, остальные планетные тела.

Два обстоятельства должны здесь обратить наше внимание. Первое заключается в поле устойчивости газообразного состояния материи в термодинамически различных частях Космоса. Где может наблюдаться газообразное состояние в этих областях и на нашей холодной планете, в частности? Наши представления о газовом состоянии в его космическом и физическом аспекте претерпевают сейчас коренное изменение, и нельзя сейчас в наших научных построениях так свободно распоряжаться газообразным состоянием материи, как это было в XVIII в., когда создавались космогонические представления, такие, как космогоническая гипотеза Де-Лапласа, так долго державшаяся и до сих пор еще влияющая на научную мысль.

Эти космогонические идеи, эти представления а priori должны быть оставлены в стороне, хотя бы потому, что мы знаем сейчас, чего не знали в эпоху, когда они слагались, что газовое состояние на Земле имеет узкие пределы своего существования. Эти пределы на нашей планете для ее атмосферы очень ограничены. Прежде чем рассуждать а priori, надо точно, что возможно только эмпирически, выявить, где на Земле возможно бытие обычных для нас трех состояний материи. Уже за пределами стратосферы, к ее верхним границам, мы встречаемся с пустотой физической, в пределах которой нет места состояниям материи. Это еще не пустота космического пространства, но это и не есть газовая атмосфера, хотя такой и называется. Молекулы и атомы проходят значительные расстояния, не сталкиваясь и не встречаясь. Газа в обычном понимании здесь, очевидно, быть не может.

С другой стороны, на нижней границе земной коры, как я указывал, на глубине 60 км от уровня геоида, основные различия между жидким, газообразным и твердым состояниями стираются: мы подходим к пластическому, упругому состоянию материи, представить конкретно которое нам трудно. Но газа в этих просторах тоже быть не может. Таким образом, в вертикальном разрезе планеты о газовом состоянии вещества можно говорить только в пределах 140 км, т.е. примерно в пределах 0,02 земного радиуса, для тонкой оболочки, занимающей 1/50 объема планеты. Кверху она ограничена физи-

ческой пустотой, книзу твердо-пластически-упругой однородной *планетной материальной массой*.

Нельзя, следовательно, рассматривать газовую атмосферу Земли в аспекте всей планеты; надо судить о ней в аспекте земной коры, которой как раз отвечает эта тонкая верхняя оболочка. Газовая атмосфера Земли едва ли поэтому является созданием фазовых равновесий планетного вещества, не есть астрономическое явление, но есть выявление химических и биогеохимических процессов *земной коры*. Можно и должно говорить о последних, так как тропосфера целиком входит в одну из оболочек земной коры, в биосферу.

Какова же роль этих двух химических и биогеохимических явлений в процессе ее создания?

41. Вопрос давно решен для свободного кислорода, но это решение не достаточно учитывается в текущей научной мысли. Мы можем здесь стоять на точной почве фактов, так как знаем количественно точно порядок явлений. Точные, хотя и приближенные, подсчеты показывают¹, что количество свободного кислорода, извлекаемое из биосферы как жизнью, так и растворением его в водных массах Океана, одного порядка с тем количеством кислорода, которое находится в свободном состоянии в земной атмосфере, т.е. порядка 10^{21} г.

Кислород в водных растворах весь находится в непрерывном движении под влиянием жизнедеятельности водных организмов. Это ярко проявляется в его химии даже во Всемирном океане. Через живое вещество реально проходят – благодаря дыханию, метаболизму и умиранию, количества свободного кислорода, которые в год равны или близкого порядка с количеством кислорода в воздушном океане, т.е. того же порядка 10^{21} г.² При этих условиях биогенное происхождение свободного кислорода – в главной его массе – не вызывает никаких затруднений с точки зрения тех масс живых организмов, которые могут вызывать его образование.

Насколько можно судить, масса свободного кислорода в биосфере остается постоянной, геологически вечной, несмотря на то, что существуют тысячи непрерывно действующих реакций, жадно переводящих свободный кислород в связанное состояние, его потребляющих. Они все могут уравниваться единой реакцией фотосинтеза зеленых растений.

Если бы этот процесс прекратился, в относительно короткое время кислород исчез бы из нашей атмосферы, и в то же время масса газовой атмосферы уменьшилась бы, так как кислород в конце концов перешел бы в жидкие и твердые соединения. Атмосфера стала бы более редкой и сохранилась бы только в том случае, если бы прекращение жизни не вызвало прекращения поступления в нее других газов, которые, как мы сейчас увидим, тоже в главной своей части биогенного происхождения.

42. По-видимому, сейчас вскрываются факты, которые должны внести поправку в это утверждение, однако эта поправка не так велика, чтобы порядок явлений изменился. Во-первых, возможно, что образование свободного кислорода в стратосфере разложением молекул воды под влиянием *ультра-*

¹ В.И. Вернадский. Опыт описательной минералогии. I, П., 1908–1914, с. 601 сл.; *Его же*. Очерки геохимии. Изд. 4-е. Л., 1934, с. 41.

² Это вытекает из данных о количестве живого вещества. Об этом см. В.И. Вернадский. Очерки геохимии. Изд. 4-е. Л., 1934, с. 182.

фиолетовых излучений более значительно, чем это предполагалось раньше. Однако даже все количество вещества – и особенно молекул воды – в этих просторах несравнимо с теми массами кислорода, которые создаются фотосинтезом живых зеленых растений и с массой этих растений.

Затем необходимо принять во внимание кислород, создаваемый в областях ниже уровня геоида разложением тех же молекул воды *радиоактивным распадом*. Массы распадающихся молекул воды могут быть здесь несравнимо больше, радиоактивные излучения их всецело проникают, но значительные концентрации радиоактивных веществ наблюдаются, по-видимому, для сравнительно небольших водных масс. Для Всемирного океана, почти $\frac{1}{2}$ всей массы воды, при наибольших допущениях 1 г радия, дает около 5 см^3 свободного кислорода в год. В общей массе это ничтожная доля биогенного годового его синтеза.

Биогенный синтез кислорода воздуха в подавляющей части может считаться научно установленным, но мы знаем, как важно в науке выражать количественное ее утверждение с максимальной точностью. Только так можно подойти к научному объяснению. Поэтому сейчас является одной из самых основных задач биогеохимии точное количественное определение поправки, которую надо внести в утверждение о биогенном происхождении кислорода воздуха.

43. То же *биогенное происхождение* приходится допустить и для наиболее важного по весу и объему газа воздуха – для азота. Нижеследующая схема дает понятие о состоянии наших знаний о свободном азоте тропосферы. Роль жизни бросается в глаза в этой схеме и вполне отвечает тому значению, какое в природной химии азота имеют органогенные соединения, и той огромной роли, какую сам азот играет в бесчисленных биохимических процессах. Кислород, азот, углерод, водород, кальций – господствующие по массе и значению элементы живого вещества. Вот схема баланса свободного азота тропосферы.



44. Всматриваясь в эту схему, мы не находим здесь ни одного несомненного случая синтеза свободного азота путем реакций, не связанных с жизнью. Есть только один процесс, где серьезно может идти речь о химическом синтезе

азота: это процесс 8-й, очень мощный, но это процесс биогеохимический. Для всех без исключения процессов, здесь указанных, ясен только один источник азота – свободный азот тропосферы. Независимо от него и от жизни синтеза свободного азота в земной коре с несомненностью мы не знаем.

Значительная часть свободного азота, постоянно поступающего в тропосферу, вне видимой связи с явлениями жизни, есть азот, уже бывший раньше в тропосфере и туда вновь поступивший. Таково происхождение большей части азота, выделяющегося из газовых растворов природных вод. Сомнение все же может быть для части этого азота. Очень трудно учесть, какое количество такого азота есть азот, не прошедший когда-либо раньше через тропосферу и в нее не возвращающийся вновь. Следующие соображения заставляют думать, что таким независимым от тропосферы азотом может быть лишь значительно меньшая его часть.

Огромное количество свободного азота растворено в поверхностных водах биосферы; этот азот находится в непосредственной связи с тропосферой и, следовательно, должен быть исключен из нашего рассмотрения. То же самое должно быть принято и для подземных вод – пластовых вод прежде всего, растворенный азот которых в более сложной форме, но непрерывно связан с азотом наземных вод и с тропосферой.

С тропосферой же, хотя местами с затрудненным обменом, связан (в вертикальном разрезе) непрерывно азот подземных атмосфер, которые могут быть прослежены в области суши на несколько километров вглубь, едва ли много глубже 3–4 км от уровня геоида.

И этот азот не может считаться *новым* азотом, образовавшимся независимо от тропосферы в течение геологического времени. Тем более, что нигде мы не видим здесь на глубинах какого-нибудь нового источника свободного азота, который бы сказался в резком увеличении содержаний азота в растворе в природных водах, выходящих из областей, где они находятся в соприкосновении с подземными атмосферами.

45. Таким образом, из форм свободного азота, поступающих в тропосферу из более глубоких земных оболочек, чем биосфера, мы можем считаться только с газовыми струями, с минеральными источниками и с вулканическими извержениями. Часть этого азота, какая, мы не знаем, несомненно в конце концов связана с азотом тропосферы, и, может быть, этим объясняется то постоянство отношения аргона к азоту в этих газовых выделениях, которое вытекало из измерений Мурэ и Лепапа¹.

И другие явления на это указывают. Так, несомненным может считаться, что на некоторой, уже небольшой, глубине от земной поверхности газы, растворенные в водах, должны были бы быть обогащены свободным азотом, благодаря тому, что свободный кислород быстро исчезает на небольшой глубине от земной поверхности. Свободный кислород исчезает или чрезвычайно уменьшается благодаря, во-первых, тому, что этот газ должен жадно поглощаться химическими реакциями и живыми организмами, населяющими биосферу, и, во-вторых, потому, что он будет диффундировать в подземную атмосферу, лишенную свободного кислорода.

¹ См: литературу и состояние вопроса. *В.И. Вернадский*. Опыт описательной минералогии. I, П., 1908–1914, с. 653 сл. Позднейшие работы вносят поправки в заключение Лепапа и Мурэ, но основной факт близости этого отношения остается.

Но такое обогащение наблюдается далеко не всегда. Для ряда глубоких вод наблюдается уменьшение его количества по сравнению с обычным его содержанием в водах; есть воды, которые содержат по весу $10^{-5}\%$ азота; такое содержание азота отсутствует для поверхностных вод, где всегда держится его количество порядка $10^{-3}\%$. Снизу как будто притока свободного азота нет¹.

46. Должна быть учтена к другая возможность – связь *глубинного азота* с явлениями жизни. При повышении температуры в стратиффере и в метаморфической геосфере в восстановительной здесь царящей среде все подземные атмосферы лишены или почти лишены свободного кислорода; проникающие эти области азотсодержащие органические вещества, поскольку можно сейчас судить, в подавляющей массе биогенные, должны разлагаться; возможно, такое происхождение части свободного азота слоев ниже биосферы. Сколько остается на долю свободного азота, независимо от тропосферы (прямо или через жизнь), мы не знаем, но нигде не видим указаний на такое его образование. Конечно, отрицательные факты имеют всегда меньшее значение, но, однако, мы наряду с этим имеем положительные факты биогенного образования азота, *количественно вполне достаточные для объяснения явлений во всем его масштабе.*

Одно время, занимаясь давно уже историей свободного азота в земной коре, я допускал возможность выделения части его из очень глубоких частей планеты², но новый пересмотр фактов заставляет меня оставить это предположение. К тому же в геохимии азота на этих глубинах, не глубже 3–4 км ниже уровня геоида, есть многочисленные указания на его химическую неустойчивость – на образование аммиачных соединений, на «связывание» азота. В глубоких водах в связи с уменьшением свободного азота замечается появление или увеличение аммиачных соединений – результат идущего здесь метаморфического процесса³.

47. Таким образом, мы можем только допускать, что *некоторая часть азота поступает в биосферу из более глубоких частей земной коры независимо от тропосферы и жизни. Но ни одного несомненного случая такого процесса нам не известно.* Но зато в биосфере идет мощный процесс выделения свободного азота и его фиксации организмами.

Биогенный свободный азот непрерывно выделяется в тропосферу и переходит в проникающие биосферу воды благодаря деятельности разнообразных бактерий, разлагающих все азотные соединения, как кислородные и аммиачные, так и сложные азотсодержащие соединения, строящие тела организмов. Процесс этот в водных растворах идет местами с чрезвычайной интенсивностью, так что образуются «пересыщенные» азотом воды, содержащие его в большем количестве, чем сколько это отвечает законам растворимости азота в водных растворах. Я указываю в другом месте⁴, что здесь мы имеем дело с своеобразными эмульсионными образованиями.

¹ Об этом подробнее в печатающейся моей книге: История минералов земной коры. II. Л., 1934.

² В.И. Вернадский. Опыт описательной минералогии. I. 1908–1914, с. 624, 642; История минералов земной коры. I. Л., 1927, с. 226–227.

³ Об этом в печатающейся моей книге: История природных вод. Ч. II.

⁴ В.И. Вернадский. История минералов земной коры. II., 1933, с. 108.

Деятельность этих бактерий достигает в морях и океанах такой интенсивности, что моря могут быть бедны другой жизнью за исключением этих бактерий, так как бактерии не составляют для других организмов нужных им азотных соединений, всегда в водах находящихся в ограниченном количестве.

Эти явления наблюдаются для тропических областей морей и океанов – первый указал на это К. Бранд, но наблюдаются и для наших широт, например для Адриатического моря¹. Эти бактерии разлагают (т.е. ими питаются) не только азотистые соединения организмов, но и нитраты или аммиаки другого происхождения, независимые в своем происхождении от жизни.

48. В тесной связи с этим вся история азота тропосферы проникнута влиянием жизни. Азот в условиях тропосферы и водных растворов биосферы есть инертное тело. Лишь при исключительных условиях он может давать соединения – кислородные и водородные. Эти соединения совершенно необходимы для жизни.

Во всех случаях, когда благодаря электрическим разрядам гроз или тихим разрядам в высоких частях тропосферы идет образование из свободного азота кислородных соединений азота, они немедленно используются организмами и поступают в биохимические реакции.

Но, больше того, ряд организмов, впервые открытых С.Н. Виноградским² – частью автотрофных бактерий, используют свободный азот, его окисляют, дают начало тем соединениям, из которых высший хлорофильный растительный мир, в конце концов, строит свободный кислород силой солнечной энергии.

Эти процессы создают плодородие почвы. Но одновременно идут и другие процессы, позволяющие использовать свободный азот; таковы клубеньковые бактерии мотыльковых. Эти процессы биогенного связывания свободного азота, по-видимому, близки к равновесию с его биогенным выделением. Еще далеко не все ясно в этой области азотных биохимических и биогеохимических процессов. Но ясно одно: жизнь охватывает всю геохимию азота в тропосфере и в водных растворах, в том числе и в почвенных, биосферы. Эти соединения, если они выходят из круга живых организмов, при смерти и метаболизме, почти нацело в форме свободного азота возвращаются в тропосферу.

49. В конце концов, перед нами для азота начинает выявляться картина, аналогичная выделению свободного кислорода атмосферы. В известной нам, наибольшей по массе, части его количества он есть биогенный продукт, создание биогеохимических реакций. Так же, как для свободного кислорода, здесь другие реакции его образования далеко отходят на второй план. Таким образом, для подавляющей части земного воздуха, для 98,5% его объема – биогенное образование, биогеохимический процесс достаточен для объяснения его существования. Изучение других газов, остальных 1,5%, подтверждает этот вывод.

¹ См. литературу: *В.И. Вернадский*. Опыт опис.[ательной] минер. [алогии], I. 1908–1914, с. 652.

² *S. Winogradsky*. Comptes-rendus de l'Acad. Sc. Paris, 116. P., 1893, 1385; *С. Виноградский*. Архив биологических наук. 3. СПб., 1895, 298. Дневник X съезда естествоиспытателей и врачей в Москве. М., 1911.

Для воды и для углекислоты роль жизни очень велика. Конечно, огромное количество водяных паров идет из наземных водных водоемов, прежде всего с поверхности Океана, но общеизвестно огромное значение растительности суши на распределение влажности всей тропосферы. Еще больше роль и значение жизни в распределении в воздухе углекислоты; биогенная углекислота является господствующей в тропосфере, и роль жизни здесь сейчас выяснена с достаточной степенью достоверности¹.

Уже давно мною отмечена² замечательная особенность состава газов биосферы, в том числе и земной атмосферы: почти все, за исключением благородных, эти газы идентичны с теми газами, которые образуются во время биохимических процессов. В земной атмосфере, т.е. в тропосфере, так как только здесь состав газов точно известен, находятся только эти газы, и нет никаких других. Едва ли это может быть случайным совпадением. Это в преобладающей массе следующие газы: O₂, N₂, H₂, He, Ar, Ne, Kr, Xe, H₂S, SO₂, SO₃, NH₃, CO₂, CO, CH₄, CSO. Только выделенные полужирным пять газов не связаны с жизнью. Однако и для них, для гелия и для аргона, есть сомнения.

Некоторые из этих же газов наблюдаются и в вулканических областях, но там наряду с ними мы имеем газы явно другого происхождения: HCl, HF, Cu₂Cl₂, SiF₄ и т.д.

50. Мы возвращаемся здесь, правда, в совсем новом аспекте благодаря существованию новой науки, *геохимии*, и новому пониманию атомов к идеям, которые имеют большую давность.

Мысль о создании земной атмосферы жизнью в ходе геологического времени не раз выявлялась в истории науки³: она выявлялась в космогоническом аспекте, в размышлениях о первых газах в нашей планете в ее догеологические периоды. Лорд Кельвин и Стевенсон считали, что первичная атмосфера состояла из водорода, Фипсон – из азота, а Кэне – из углекислоты и азота. Бельгийский химик Кэне в 1856 г. выдвинул роль жизни благодаря созданию ею свободного кислорода и использованию углекислоты в генезисе самой современной атмосферы⁴.

Сейчас мы подходим к биогенному созданию нашей воздушной оболочки вне каких-нибудь космогонических представлений, исходя из анализа эмпирических фактов. Благодаря этому мы стоим на более прочной почве и получаем возможность исследовать явление научным опытом и наблюдением. *Земная атмосфера (тропосфера) не есть астрономическое явление в своей основе.*

51. Еще несколько слов об *озоновом экране* (§ 23). Мы подходим здесь, как указано, к своеобразной организованности среды жизни по сравнению с жизнью, с организмом. Озоновый экран через свободный кислород связан с жизнью, но жизнь без него существовать не может. Получается как бы заколдованный круг.

¹ В.И. Вернадский. Очерки геохимии. Изд. 4-е, 1934, с. 193.

² В.И. Вернадский. ИАИ, 1926, с. 1053.

³ См. литературу: В.И. Вернадский. Опыт опис.[ательной] минер.[алогии], I, 1908–1914, с. 662.

⁴ С.В. Коене. Conférences publiques stir la création. Br., 1856. Работа Кэне была мне недоступна. Ср. мой «Опыт описательной минералогии». I. 1908–1914, с. 662.

Но верно ли, полно ли это логическое заключение? Нет ли в нем недостаточной четкости? Например, доказано ли опытом, что *see* организмы гибнут от тех лучей, лучей короче 200 Å, которые задерживаются озоновым экраном? На это ответить точно мы не можем. Насколько я знаю, для анаэробов явление не изучено, особенно принимая во внимание сложность их свойств по отношению к биогеохимической газовой функции.

Атмосфера – O₂, N₂, CO₂, H₂O – в подавляющей массе создание жизни, но без нее не было бы жизни. Может быть, надо сказать точнее: не было бы жизни в подавляющей по весу ее части. Анаэробные организмы могли бы начать жить без такой атмосферы, и в процессе эволюции форм жизни могла бы выработаться тропосфера. Так, по крайней мере, может ставиться задача для научного опыта и научного наблюдения; нет научных фактов, такой постановке противоречащих.

Мы видим на этом примере, как и на примере проблемы право-левого в биосфере, что введение в научную мысль новой науки, какой является биогеохимия, ставит новые проблемы, т.е. открывает новые пути исследования и меняет понимание старых. С этим мы сталкиваемся на каждом шагу во множестве случаев. И это оправдывает выделение биогеохимии как новой отрасли знания.

VIII. О КОНЦЕНТРАЦИИ РАДИА В БИОСФЕРЕ ЖИВЫМИ ОРГАНИЗМАМИ

52. Я остановлюсь еще на одном частном случае проявления жизни, на специальной концентрационной биогеохимической функции, связанной со способностью живых организмов концентрировать радий. Коснусь, во-первых, потому, что работа в этом направлении ведется в Биогеохимической лаборатории и привела к известным результатам и, во-вторых, потому, что при ходе работы все яснее становится, что эта концентрация должна иметь большое значение в строении биосферы.

Концентрационная биогеохимическая функция жизни обозначает свойство живых организмов собирать определенные атомы в количествах, больших среднего их (по весу) содержания в земной коре. Это одна из важнейших геохимических функций организма. Биогеохимический процесс идет иногда с такой силой, что химические элементы, рассеянные в биосфере, собираются в огромных массах – дают атмосферы, породы и руды – благодаря в этом явлении проявляющейся геохимической энергии жизни. Достаточно здесь указать, что самые большие скопления *свободного кремнезема* (кварца) в чистом виде в земной коре – SiO₂, – собирающегося в виде толщ в многие миллионы тонн – биогенного происхождения или что самые большие *концентрации железа*, нам известные, например, лимониты, сидериты и хлориты Лотарингии, Керчи, гематиты Великих озер Северной Америки – где количества чистого железа достигают концентрации десятков процентов по весу, в массах, отвечающих порядку 10¹⁶, имеют то же самое происхождение. Вероятно, таковы лее руды Курской аномалии.

С точки зрения явлений жизни – строящего организмы вещества – можно различать организмы, во-первых, такие, которые содержат больше 1% своего веса такого сосредоточенного ими из окружающей среды элемента.

Я предложил¹ такие организмы называть по элементу: *кальциевыми, железными, калиевыми* и т.д. организмами. Другие содержат больше 0,1% по весу некоторых элементов; их можно назвать *богатыми данным элементом*. Наконец, меньше, до 0,1% содержат организмы, не являющиеся концентраторами элементов в строении биосферы.

Несмотря на очень большую условность такого обозначения, она во многих случаях представляет удобства при научной работе. Эти обозначения приурочены к организации организма, а не к организованности биосферы, и поэтому возможны случаи, когда наблюдаемая в организме концентрация элемента в организме будет ниже его среднего содержания в биосфере. Это, например, наблюдается для калиевых гигантских водорослей или для кремневых диатомовых. Но в других случаях, например для углеродистых сухопутных растений, для азотистых хищных насекомых, для кальциевых скелетных беспозвоночных, концентрация углерода, азота или кальция резко превышает среднее содержание этих элементов в земной коре. Явление этого рода, очень важное с точки зрения строения биосферы, наблюдается во множестве случаев для множества элементов, процентное содержание которых в организме – в определенных по морфе организмах – превышает их среднее содержание в земной коре. К числу таких элементов принадлежит и *радий*.

53. В работе Биогеохимической лаборатории мы обращаем очень большое внимание на изучение концентрации химических элементов живыми организмами по сравнению с их средним содержанием в среде жизни организма. Мы смогли поставить эту работу и ищем концентраторов хрома, ванадия, марганца и т.д.; но эти явления интересуют нас в первую голову в связи с отражением биогеохимических процессов в живом веществе, а не в связи со средою его жизни. Но концентрация организмами радия ни в коем случае не может быть оставляема без внимания в структуре биосферы. Ибо развитие геологических наук, и геохимии в частности, заставляет нас придавать все большее и большее значение *распределению радиоактивных элементов на нашей планете*, так как: 1) это распределение отвечает не только распределению вещества, но и распределению геологически действенной энергии и 2) по мере того, как изучается распределение этих элементов в земной коре, тем все более и более становится ясным первостепенное значение этого фактора в геологии.

Самые глубокие и наиболее важные геологические процессы, оказываются, идут за счет *радиоактивной энергии*, как ни малой в своих доступных нашим чувствам проявлениях она нам ни представляется. Энергия Солнца, энергия радиоактивного распада и гравитационная энергия являются основными источниками сил, которые дают начало и определяют миграции всех земных атомов.

54. Пока можно утверждать, что впервые количественно доказанное Е.С. Бурксером и его сотрудниками² нахождение радия в растительных организмах наблюдается всюду, как это видно из работ нашей Лаборатории и Радиевого института. Выясняется, с другой стороны, что организмы

¹ В.И. Вернадский. Химический состав живого вещества. П., 1922. Изд. «Время». (Печатается в сборнике мои статей: Биогеохимические очерки. I).

² E. Buixer, S. Bruk, L. Bronstein. Biochem. Ztschr., 1927, 181. P. 145.

являются *концентраторами радия*; это является пока точно установленным для пяти видов ряски (*Lemma*) в прудах около Ленинграда и Киева работой Б.К. Бруновского и К.Г. Кунашевой¹; первые неопубликованные еще определения морского планктона подтверждают это явление.

Опираясь на эти первые наблюдения и обобщая их, что позволяет делать ряд точных указаний, на которых я не могу здесь останавливаться, можно считать, что организмы являются концентраторами радия. Это явление, если дальнейшая работа его подтвердит, имеет, по-видимому, гораздо большее значение, так как дело идет не только о радиии, но и о других радиоактивных элементах. Организмы концентрируют *калий*. *Уран* собирается в органогенных телах².

Все указывает, что геохимическая история изотопов радия, в первую очередь $MsThI$, идентична с геохимической историей радия³: Мезоторий первый должен, подобно радию, собираться в живом веществе⁴. В связи с этим исследование количественного содержания K , Rb , U (и Ra), Th (и $MsThI$) в организмах и в биосфере систематически ведется в нашей Биогеохимической лаборатории и в Радиевом институте. Через несколько месяцев мы будем иметь точный ответ по отношению к некоторым из этих элементов. Пока же можно только условно установить место, какое занимает жизнь в *круговороте радия* (очевидно, это общее явление для радиоактивных элементов).

Роль радия как концентратора видна из [следующей] схемы.

СХЕМА КОНЦЕНТРАЦИИ РАДИЯ В ЗЕМНОЙ КОРЕ

I. Биосфера

1. *В тропосфере радий в ничтожных количествах в пылевой атмосфере*. В осадках попадает в гидросферу и на сушу.
2. *Гидросфера*. Радий сходит на нет вдали от суши.
3. *Кора выветривания (суша)*.

Вадозная концентрация радия в организмах и в илу, богатом органическими остатками. Из морей может, переходя при метаморфизме геологическими процессами в осадочные породы, давать начало в стратисфере концентрациям радия в пластовых водах. Ил океанических осадков выводит радий (и уран) из геохимического цикла.

В водных растворах нет концентрации радия. В них вадозная концентрация радия в организмах (количественного порядка кислых массивных пород).

В почвах и в продуктах выветривания местные концентрации радия в связи с разрушением гранитных пород и скоплением урановых материалов. Радий концентрируется благодаря скоплению труднорастворимых урановых минералов или выщелачиванию урана и выделению вадозных урановых соединений. Вадозная

¹ *W. Weinadsky*. C. R., 191, P., 1930, 421; *B. Brunowsky*. Тр. Биогеохим. лабор., 1932, 2, с. 9. Ср. S. Stoklasa u. *Pènkava*. Biologie d. Radiums u. Uraniums. L., 1932, p. 177.

² *В. Вернадский*. Очерки геохимии. Изд. 4-е, 1934, с. 231, 257.

³ *V. Chlopin u. W. Vernadsky*. Elektrochem. Ztschr., 1932, p. 519; *В.И. Вернадский*. Природа, 1932, с. 414.

⁴ Сейчас этот вывод подтвердился. Концентрация мезотория первого подтвердилась измерениями Б. Бруновского и К. Кунашевой для *Lemma* sp. См.: *W. Vernadsky, B. Brunowsky, C. Kunaševa*. C. R., 1933, 197, p. 1556.

концентрация в наземных организмах. Количественно это концентрация порядка содержания радия в кислых массивных породах. Нет определений радия в почвенных водных растворах, откуда организмы в конце концов получают радий. Эта самая очередная научная задача для выяснения явления.

Концентрация радия в выходах кислых массивных пород, выходящая в биосфере. При их разрушении радий переходит в воды, независимо от урана, и вновь создается в вадозных урановых минералах, из них происшедших.

Создаются вадозные, т.е. происшедшие в биосфере концентрации радия, в богатых ураном россыпях и в осадочных урановых рудах, происшедших разрушением и водной переработкой массивных пород. Уран (и создающийся из него радий) захватывается органическими органическими новообразованиями.

II. Стратисфера

Аналогичные процессы усиливаются в нижних частях биосферы и при метаморфических явлениях в стратисфере (под сушей и под морями – их нет под океаном).

Здесь сейчас вскрывается концентрация радия, мощная по количеству радия, – но равная по порядку концентрации радия в древних (больше миллиона лет возраста, т.е. древнее молодых третичных пород) кислых породах – 10^{-9} – 10^{-11} % радия в пластовых водах соленых и рассолах Na–Ca–Cl и Ca–Na–Cl, связанных с нефтеносными месторождениями. В отличие от массивных пород здесь радий отделен от урана. Эта концентрация радия есть ныне происходящий миграционный процесс, на что указывает нахождение в этих водах как самого радия без урана, так и ^{231}ThI и ^{231}ThX . Связь радиомезоториевых вод и месторождений гелия с нефтеносными месторождениями указывает на еще невыясненное огромной значимости биогеохимическое явление, приводящее к созданию руд гелия, мезотория первого и радия.

55. К этой таблице надо сделать следующие замечания.

Во-первых, *концентрация радиоактивных элементов* с энергетической точки зрения является процессом, нарушающим природное устанавливающееся неоднородное равновесие в отсутствие жизни. *С энергетической точки зрения устойчивым состоянием в земной коре является рассеяние радиоактивных элементов, но не их концентрация.*

Жизнь является в биосфере фактором, нарушающим обычный ход процесса; организм действует здесь вопреки правилу энтропии. В биосфере мы другого такого фактора не знаем¹. Как бы то ни было, организм создает здесь организацию миграций радиоактивных элементов, для любого механизма, не устойчивую, так как он концентрирует действенную энергию. По-видимому, он использует при этом атомную энергию для жизни. Можно думать, что это связано с химическими (и биологическими) явлениями. На это указывает явление, которое было открыто А.А. Черепенниковым и В.И. Барановым, которое сейчас выявляется в его большом значении Радиевым институтом. Это концентрация в соленых водах нефтеносных месторождений наряду с радием его изотопа – мезотория первого. Воды эти лишены урана и тория. Мезоторий первый и радий – изотопы, химически идентичны; только физически они отличаются. Их и еще другого изотопа радия – ThX – одновременная концентрация при отсутствии тория и его изотопов указывает с несомненностью, что мы имеем дело с процессом химическим².

Нахождение мезотория в водах, богатых радием, ставит перед нами вопрос о том, есть ли в организмах *торий* или же только *мезоторий первый*, – вопрос, который и биологически, и геохимически представляет большой интерес³. Эта работа сейчас идет в нашей Биогеохимической лаборатории и в Радиевом институте.

В связи с этим ставится другой вопрос о значении для миграции атомов радия (и его изотопа, мезотория I) нефтей. С нефтями, органогенный генезис которых доказан, как показатели работы, главным образом русских радиологов, как-то связаны богатые радием и мезоторием соленые и рассольные пластовые воды. Исследование этого вопроса еще идет и, вероятно, в близком будущем точно выяснится⁴. Пока что я отметил – условно – этот процесс, может быть, связанный с жизнью, в схеме миграций радия.

56. Из сказанного ясно то значение, которое имеет жизнь для познания биосферы, даже ограничиваясь рассмотренными проблемами, которые далеко не охватывают проблемы в целом (§ 24). Жизнь создает воздух (тропосферу), образует особые состояния пространства в биосфере или выявляет не чувствительные для других физических методов его свойства, концентрирует химические элементы, создавая огромные участки коры выветривания и литосферы, перераспределяет радиоактивную энергию, геологически исключительно важную. *Она своим существованием – в неразрывной связи с средой жизни – создает биосферу – определенную оболочку земной коры.* Но ее влияние не ограничивается биосферой. Она переносит на несколько километров

¹ В.И. Вернадский. Очерки геохимии. Изд. 4-е, 1934, с. 257, 210.

² Работы цитированы в указанной в прим. 3 на с. 44 статьи В. Хлопина и моей (1932).

³ Ср. В.И. Вернадский. Природа, 1932, с. 414.

⁴ См.: W. Wernadsky. Les problèmes de la radiogéologie, 1935, p. 34 сл.

от поверхности геоида вглубь за пределы биосферы лучистую энергию Солнца, создавая своеобразные аккумуляторы энергии в форме горючих или легко разлагающихся измененных биогенных минералов.

Новое проявление жизни живого вещества выросло в нашей эпохе, *сила цивилизованного человечества*, по-новому и с небывалой интенсивностью меняющая всю планету и проникающая вверх в стратосферу, вниз в стратисферу. Она начинает новую *геологическую психозойную эпоху*. Но надо не забывать, что, несмотря на такое яркое значение человечества, новая природа, охватившая всю земную поверхность, ее новый лик, человечеством созданный, далеко не достигла мощности шедших до нее биогеохимических процессов. Однако *Homo sapiens faber* резко уже в аспекте геологического времени их усиливает и меняет. Этим он определяет новую геологическую эпоху в истории Земли, вводит в нее новый, мощный, небывалый, биогеохимический фактор.

О КОРЕННОМ МАТЕРИАЛЬНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОТЛИЧИИ ЖИВЫХ И КОСНЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ ТЕЛ БИОСФЕРЫ*

ОТ АВТОРА

Прошло более трех лет, прежде чем автор мог вернуться к «Проблемам биогеохимии» [1]. Работая в последнее время над книгой «Основные понятия биогеохимии в связи с ходом научного охвата природы», автор считает полезным, не ожидая ее окончания, которое неизбежно затягивается, выделить и отдельно развить в «Проблемах биогеохимии» некоторые отдельные вопросы, затронутые им в книге, обратить внимание на которые он считает нужным сейчас же. Такой проблемой в этом втором выпуске «Проблем биогеохимии» является эмпирически устанавливаемое в нем автором коренное, не допускающее исключений, материально-энергетическое отличие живого вещества в биосфере от остальных ее природных объектов и проявлений.

Автор подошел к нему, исходя из изучения жизни как совокупности всех живых организмов планеты, т.е. *живого ее вещества*, учитывая особую структуру области, заселенной живым веществом – *биосферы*, единственной области планеты, закономерно связанной с *космическими просторами*. Автору кажется, что с этой стороны еще не подходили к явлениям жизни, а между тем из такого нового подхода вытекают большие следствия, которые могут быть проверены опытом и наблюдением. Он считает, что напечатанная здесь таблица (стр. 251) не заключает никаких гипотез и теорий, а является точным изложением научных фактов и связанных с ними эмпирических обобщений. Она не выходит из рамок науки в область философских представлений и в то же самое время резко и определенно выявляет значение жизни – живого вещества – в биосфере как *планетного явления*.

* Впервые опубликовано в: Проблемы биогеохимии. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1939. В дальнейшем опубликовано в: Проблемы биогеохимии. М.: Наука, 1980. С. 55–84.

В связи с поднятыми здесь общими вопросами автор в следующем, 3-м выпуске, который готовится к печати, выдвигает более общий вопрос – «О состояниях физического пространства», который касается не только биогеохимии, но и всего изучения природы и который с проблемами биогеохимии неразрывно связан. Автор надеется в ближайшее время сдать его в печать. Оба выпуска тесно связаны по тематике.

Москва. Сентябрь, 1938 г.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Живое вещество. Биосфера как оболочка планеты. Новое ее геологическое состояние – ноосфера. Естественные тела и природные явления биосферы – косные, живые и биокосные. Их система – научный аппарат. Левизна–правизна в живом веществе как проявление состояния занятого им пространства. Свободная энергия биосферы как проявление в ней живого вещества в его биогеохимической энергии.

1. В моей биогеохимической работе, которую я систематически и непрерывно веду с начала 1916 г., я в последнее время оформил выводы, которые указывают на глубокое непереходимое отличие – *энергетически-материального характера* – явлений жизни от всех процессов, идущих в биосфере, – отличие, которое, с одной стороны, может быть выражено количественно точно, а с другой – требует новой математической работы в области геометрии. Вскрывается новая проблематика изучения жизненных явлений, которая открывает новые стороны явлений жизни и новые возможности научной работы. Я считаю поэтому полезным обратить внимание на эти представления, не ожидая, когда будет закончена предпринятая мною переработка биогеохимии.

2. В основу биогеохимии кладутся немногие основные представления, *не заключающие в себе никаких гипотез*, а являющиеся точными и ясными научными понятиями, научными эмпирическими обобщениями опыта и наблюдения натуралиста. Таким эмпирическим научным обобщением, столь же непреложным, как правильно научно установленный факт, является прежде всего, само понятие *живого вещества биосферы*. *Живое вещество биосферы есть совокупность ее живых организмов.*

В дальнейшем, вместо понятия «жизнь», я буду брать понятие «живое вещество» в таком его понимании.

Обычно в аспекте биосферы отдельный живой организм теряется; на первое место выступает совокупность организмов – живое вещество. Однако и в биогеохимии – в строго определенных случаях – приходится принимать во внимание временами отдельный организм, его индивидуальность. Это неизбежно приходится делать в тех случаях, когда в качестве геологического фактора выступает, как мы это видим сейчас, *деятельность человека*, в которой отдельная личность иногда ярко проявляется и отражается на крупных явлениях планетного характера. Она меняет, ускоряет и вызывает огромного значения геологические процессы своим проявлением в биосфере.

Мы живем в небывало новую, геологически яркую эпоху. Человек своим трудом – и своим сознательным отношением к жизни – перерабатывает земную оболочку – геологическую область жизни – *биосферу*. Он переводит ее в новое геологическое состояние; его трудом и сознанием биосфера переходит

в *ноосферу* [2]. Им создаются в биосфере новые, не существовавшие раньше биогеохимические процессы. Биогеохимическая история химических элементов – планетное явление – резко меняется. На нашей планете создаются, например, в огромных массах новые свободные металлы и их сплавы, в ней никогда не существовавшие, таковы, например, алюминий, магний, кальций. Резчайшим образом изменяется и нарушается растительная и животная жизнь. Создаются новые расы и виды. Лик планеты меняется глубочайшим образом. Создается стадия ноосферы. Сейчас в биосферной земной оболочке происходит бурный расцвет, дальнейшая история которого представляется нам грандиозной.

В этом геологическом процессе – в основе своей биогеохимическом – отдельный индивид живого вещества, людской совокупности – крупная личность – ученый, изобретатель, государственный деятель – может иметь основное решающее и направляющее значение, проявляется как *геологическая сила*. Такое проявление индивидуальности в процессах огромного биогеохимического значения есть новое планетное явление. Оно сложилось, стало проявляться резче и глубже с ходом времени, в *последние десятки тысяч лет* на фоне истории биосферы миллиардной длительности, когда его не было.

В биогеохимических процессах – за пределами этих явлений – совокупность живых существ – живое вещество, как и прежде, играет основную роль. Оно характеризуется как совокупность всех организмов, сводимая к математически выраженной совокупности *средних* живых организмов. В биогеохимии изучается прежде всего проявление совокупности, а не среднего неделимого. В большинстве других биологических наук мы изучаем главным образом среднее неделимое, причем в науках медицинских и зоотехнических выступает в последние тысячелетия значение, как и во всех науках гуманитарных, неделимого, индивидуальности, личности.

Морфологически в биогеохимии живое вещество проявляется как вид, род, раса и т.п. Мы различаем *живое вещество однородное-родовое, видовое и т.п. и живое вещество неоднородное*, как лес, степь, биоценоз вообще, состоящее из однородных живых веществ, их закономерные смеси [3]. Удобство такого подхода к явлениям жизни заключается в том, что мы при этом не сходим в наших суждениях и представлениях в шаткую область гипотез и философских построений о жизни, господствующих в биологической мысли. Мы при этом не выходим из области научных фактов и научных эмпирических обобщений, стоим на их прочной почве.

3. Наряду с понятием живого вещества выдвигаются еще два эмпирических обобщения: понятие о *среде* жизни, как *биосфере*, и о живом организме, как о *живом природном (естественном) теле*. Живое вещество находится на нашей планете только в *биосфере*, которая и есть область жизни.

Этим совершенно точно определяются ее пределы. Исходя из этого определения, к биосфере принадлежит атмосфера – вся *тропосфера*. А сейчас живые организмы – человек и его неизбежные спутники: насекомые, растения и микробы – проникают сами собой или с помощью приборов еще выше – в *стратосферу*. Одновременно культурный человек (и его неизбежные живые спутники) проникает вглубь за пределы поверхностного рельефа, сообщаясь с тропосферой, на несколько километров вниз от земной поверхнос-

ти. Вскрылось сейчас и планетное значение открытого в конце прошлого столетия нахождения жизни – микробного живого вещества, главным образом анаэробного, в земных глубинах, местами превышающих три километра, и, вероятно, больше. Нижняя граница биосферы лежит, таким образом, на несколько километров ниже уровня геоида [4]. Весь Всемирный океан в нее входит.

Биосфера представляет собой определенную *геологическую оболочку*, резко отличную от всех других геологических оболочек нашей планеты [5]. И это не только потому, что она заселена живым веществом, которое является огромного значения геологической силой, ее совершенно перерабатывающей, меняющей ее физические, химические и механические свойства. Но это единственная оболочка планеты, куда проникает заметным образом космическая энергия, ее еще более живого вещества изменяющая. Главным ее источником является Солнце. Его энергия – тепловая, световая и химическая – наряду с энергией химических элементов есть первоисточник создания живого вещества.

Живое вещество проникает всю биосферу и ее в значительной степени создает. Оно аккумулирует энергию биосферы, главным образом тепловую и химическую энергию солнечных лучей в химическую энергию земных атомов. Возможно, что известную роль играет радиоактивная энергия [6].

4. Материально-энергетически вещество, строящее биосферу, резко неоднородно. Мы в нем с этой точки зрения должны различать главную массу вещества ее, не входящую в живое вещество; вещество, которое я буду называть *косным*, не живым. По весу главная масса его состоит из горных пород. Но по объему выступают на первое место жидкие и газообразные тела – океан и атмосфера. В них находится – живет – совокупность живых организмов планеты – ее живое вещество.

Между ними и косным веществом биосферы есть единственная непрерывная материальная (resp. энергетическая) связь, непрерывно идущая во время дыхания, питания, размножения живого вещества, основная для его существования; *миграция* атомов – химических элементов – из косных тел биосферы в живые естественные тела и обратно – *биогенная миграция атомов*. Она проявляется в виде движения – ухода и прихода определенных химических соединений и отдельных химических элементов – из живого вещества и в живое вещество в процессах питания, дыхания, выделений, размножения, характеризующих живое вещество. Эти процессы определяют *биогеохимическую энергию* [6] живого вещества, основным проявлением которой является размножение живого вещества.

Все эти проявления биогенной миграции и биогеохимической энергии определяются размерами, химическим составом и энергией биосферы. Благодаря этому в биосфере могут существовать не всякие организмы, а только строго определенные ее структурой. *Живой организм и живое вещество являются закономерной функцией биосферы*. Это обычно забывают. И неправильным образом, особенно в философских рассуждениях, но и в биологии, противопоставляют живой организм среде, как будто это два независимых объекта. Такое сравнение есть логическая ошибка. Особенно ярко это проявляется в философии и *в корне подрывает огромное количество ее заключений*. Я не буду здесь на этом останавливаться.

5. Не менее важно понятие природного или *естественного тела*. Странным образом это основное понятие, в сущности проникающее все естествознание, обычно оставляется без внимания и без серьезного логического анализа. Однако им пользуются почти бессознательно на каждом шагу.

Мне пришлось, в молодости ярко и сознательно пережить проявление его значения. Мой учитель В.В. Докучаев в своей творческой работе в почвоведении выставил положение, что почва есть *особое естественное тело*, отличающееся от горной породы. Как известно, он доказал этот тезис и тем самым позволил вникнуть своим современникам на ярком примере успешного синтеза в основы творческой работы естествознания [7]. Но в истории науки и в научной текущей жизни такие события редки. Обыкновенно споры не доходят до основных положений научного знания. Об этих положениях не говорят и о них забывают.

Вдумавшись, легко убедиться, что *в основе всего естествознания лежит понятие о естественном (природном) теле и о природном явлении*. В наших дальнейших рассуждениях мы будем касаться только биосферы и рассматривать явления, учитывая живое вещество.

Ученые в биосфере изучают только объекты, которые создаются в биосфере силами, имеющими в ней место, или явления, в ней этими силами вызываемые. Объекты, с которыми они имеют дело, удобно называть *естественными или природными телами* биосферы, а явления – *природными ее явлениями*. Задача науки заключается в том, чтобы точно исчислить, описать и определить все естественные тела и все природные явления, существующие и существовавшие в биосфере. Работа длится поколениями, и миллиарды миллиардов научных фактов и научных обобщений – т.е. естественных тел и природных явлений – научно охвачены, сосчитаны и приведены в систему. Они составляют основу науки; из них строятся эмпирические обобщения, сводимые опять-таки к естественным телам и природным явлениям.

В результате этой работы создается основное содержание науки, для которого странным образом до сих пор нет общепринятого выражения. Мне пришлось назвать его и, может быть удобно называть его *научным аппаратом* [8]. Этот аппарат начал создаваться в астрономии еще за тысячи лет до нашей эры и был воспринят – дошел до нас – в виде числовых данных для положений Солнца, звезд, планет в эллинских сводках (Гиппарх, Птолемей). Работа возобновилась в средние века в Средней Азии. Она всюду велась в летописях в форме точных записей комет, болидов, метеоритов и т.п. С XVI столетия началось быстрое накопление материалов и были созданы первые крупные обобщения, основанные на его обработке. Но и в астрономии основное движение, непрерывное с тех пор и быстро развивающееся, тоже началось в большом масштабе только в XVIII в. В этом же веке – в век *описательного естествознания* – стремление точно сосчитать, отметить и описать всякое естественное тело и записать всякое природное явление стало сознательной задачей точного естествознания. Линней (1707–1778), опираясь на работу более старых натуралистов, ввел понятие о «системе природы» и подсчитал впервые число видов животных и растений – однородных живых веществ, населяющих биосферу. Он знал в 1758 г. всего 4162 вида животных (в 1768 г. – 5936) и в 1768 г. – 7788 видов растений. Всего живых организмов

Линней (1768 г.) различал 13 724. Горных пород и минералов еще меньше. Сейчас количество видов растений приближается к 200 тысячам и, может быть, превысит 300 тысяч. Число видов животных подходит к 800 тысячам и, вероятно, в действительности отвечает нескольким миллионам, может быть, достигнуто 10 миллионов. В сущности, «система природы», понятая широко, отвечает тому, что я называю научным аппаратом. Колоссальное количество чисел, отвечающих физическим и химическим свойствам, – растущее, как снежный ком, все увеличиваясь с ходом времени, добытое главным образом путем *опыта ученого*, а не путем наблюдений биосферы и впервые создаваемое в биосфере научным трудом, во много раз превышающее количество живых естественных тел, живых веществ и не имеющее границ, – делает обозначение их как системы природы, мне кажется, логически неясным и неудобным и практически невыгодным. Поэтому понятие *научного аппарата*, в котором мы разбираемся только благодаря тому, что он сведен в научную систему, проще. В него целиком входят система природы и научный аппарат гуманитарных наук, охватываемый также научной системой, всецело проникнутый индивидуальностью.

6. Каждый объект естествознания есть естественное тело или естественное явление, создаваемое природными процессами. В настоящее время многие квадрильоны, если не больше, естественных тел и природных явлений научно сведены вместе, подсчитаны и научно определены в системе научного аппарата. Число тел и явлений непрерывно растет, система научного аппарата также научно непрерывно совершенствуется. Благодаря этому мы все резче разбираемся в бесчисленном количестве научных фактов. В них заключается основное содержание науки. Переработанные научным обобщением и временными научными гипотезами и теориями, охваченные математической дедукцией и анализом, они являются *научной истиной*, точность и глубина которой с *каждым поколением* увеличивается.

Этим точная наука отличается от философии, религии и искусства, где *научного аппарата нет* и где научная истина, иногда вскрываемая интуитивным творчеством, может быть узнана только тогда, когда научно будет вновь доказана. Эта творческая интуиция намного предшествует научному ее пониманию, и в этих областях человеческого творчества таятся неясные современникам научные истины будущего. Но точно разобраться в них без науки, не сведя их к научному аппарату, мы не можем.

7. Можно различить в биосфере три типа естественных тел: тела *живые* (например, растение, жук и т.п.), тела *косные* (например, горная порода, кварц и т.п.) и тела *биокосные* (например, почва, озерная вода и т.п.).

Биосфера состоит из резко ограниченных областей, образованных живыми, косными и биокосными телами – водами, живым веществом, горными породами, воздухом и т.п. Переход живых тел в тела косные происходит при отмирании, когда живое тело перестанет как таковое существовать, образуются органогенные горные породы (например, биолиты) [9] и косные тела (например, газы). Биолиты часто являются биокосными телами. Никогда не наблюдается образования живого организма непосредственно из косных тел: принцип Ф. Реди (все живое из живого) не нарушается [10].

Понятие о косном (мертвом) и живом природных телах как резко различных природных объектах, – есть древнее бытовое, исторически – тысяче-

тия – внедренное представление, понятие «здорового смысла». Оно не может возбуждать сомнений, всем понятно и ясно.

В научной работе – в течение даже столетий – не много можно найти случаев сомнений, причислять ли данный природный объект к живому существу или к косному телу, является ли данное природное явление проявлением живого или косного. Одним из таких сомнений, может быть самым глубоким, является вопрос о вирусах [11]. Может быть, иными являются вопросы, поставленные Д.Ч. Бозе в Калькутте о проявлении *жизни* в живой и косной материи одинаково, но различно по степени. Но это философские проблемы, которые Бозе пробовал решить с помощью научной методикой, как раньше в XIX столетии это менее точно ставил в Европе философски Г.Т. Фехнер. В этом случае вопрос о живом веществе биогеохимии не затрагивается, так как живое вещество в ней есть совокупность живых организмов: Фехнер и Бозе пытались проникнуть в материально-энергетическую субстанцию, общую живому и косному телу.

8. Понятие *биокосного естественного тела* есть понятие новое – биогеохимически научно точно и определенно отличающееся от понятия косного и живого естественного тела. В биосфере естественные тела этого рода ярко выражены и играют большую роль в ее организованности [12]. *Биокосные естественные тела* характерны для биосферы. Это закономерные структуры, состоящие из косных и живых тел одновременно (например, почвы), причем все их *физико-химические свойства* требуют – иногда чрезвычайно больших – поправок, если при их исследовании не учтено проявление находящегося в них живого вещества.

Биогенная миграция химических элементов (атомов) играет в их свойствах большую, нередко преобладающую роль.

Всякая почва есть характерное биокосное тело. Это ясно видел уже В.В. Докучаев.

Биокосными телами является подавляющее большинство *земных вод*. Только в отдельных случаях в них не играет основной роли живое вещество. Этого нет, например, в горячих вулканических водах, богатых серной или соляной кислотой, нет в крепких рассолах. А все же даже в Мертвом море есть микробное живое вещество, не играющее, правда, решающей роли. Чисты от живого вещества в первые моменты дождевые воды. Все воды океанов и морей, рек и озер, все их *илы* представляют биокосные тела. Газовый режим, химический состав и иловые осадки всех этих вод – их химия – в основном определяются живым веществом.

Роль биокосных естественных тел чрезвычайно и еще не учтена настоящим образом в организованности биосферы.

Процесс *выветривания горных пород* есть биокосный процесс, что обычно не учитывается. Мне кажется, это объясняет отставание этой области химической геологии (коры выветривания) от современного уровня знания. К нему подходят только, как к процессу физико-химическому. Биогеохимический подход к решению этой проблемы должен дать много.

9. До сих пор я не выходил за пределы понятий – живого вещества, биосферы, естественных тел и природных явлений (косных, живых, биокосных), – основанных на огромном эмпирическом, точном материале опыта и наблюдений. Они не могут вызывать теоретических сомнений и не требуют

никаких новых научных гипотез или научных теоретических построений для своего понимания. Можно спокойно и плодотворно для научной работы здесь сводить в системы и обобщать накапливающиеся научные факты.

Но для понимания дальнейшего мне необходимо коснуться двух больших новых явлений, в научном изучении которых нельзя идти путем простого обобщения научных фактов, а необходимо ввести новые понятия и найти новую форму для охвата фактов. Оба эти явления чрезвычайно мало охвачены теоретической мыслью и не осознаны в своем научном значении. Они сейчас находятся на грани современного научного знания. Это, во-первых, понятие *правизны–левизны*, во-вторых, понятие *биогеохимической энергии*.

Правизна–левизна есть исконное бытовое понятие, едва охваченное научной и философской мыслью. На его первостепенное значение для понимания явлений жизни – организма, живого вещества – впервые обратил внимание Л. Пастер и независимо от него раньше Бешан, но Пастер охватил вопрос глубже и выявил в нем явления, которые дают нам возможность точно научно проникнуть в эту огромную область проблем, всего значения которых Пастер не мог предвидеть. Понятие о *биогеохимической энергии* было введено мною в 1925 г., в отчете моем Fondation Rosenthal в Париже, который никогда целиком не был напечатан. В моей книге я охватываю этот вопрос, насколько это сейчас возможно. Остановимся сперва на *правизне* и *левизне* в ее отношении к живому веществу и к биосфере.

10. Мы можем здесь не считаться с А. Бешаном, глубоким натуралистом-экспериментатором. Бешан – старший современник Пастера, его враг и соперник, его надолго переживший, не сумел добиться нужных условий для систематической работы. Он исходил из того же факта, из которого исходил и Пастер, – из открытия в начале XIX столетия в одном из мелких производств Эльзаса превращения виноградной кислоты или ее солей в левую винную кислоту при развитии в ней плесени. Было создано этим путем новое производство левой винной кислоты. В этом химическом воздействии плесени как живого вещества и Вешан [13], и Пастер – оба глубокие химики – увидели замечательное, исключительное свойство жизни – живого вещества, – непонятное, необычное, неизвестное и, по-видимому, невозможное в обычных химических явлениях. Задуматься над этим и отметить это – увидеть здесь проблему – уже было большим делом, но только первым началом. Надо было исследовать и выразить явление в конкретных научных фактах.

Жизненные условия не дали этой возможности Бешану. Но Пастер поставил его в связь с совершенно особым свойством энантиоморфных кристаллов, характеризующих – под влиянием живого вещества – рацемические кислоты и соли. В результате получается один изомер – левый или правый, другой не существует, может быть, используется организмом. В этом Пастер правильно увидел резкое нарушение закона кристаллической симметрии. Это нарушение сказалось в том, что правые и левые формы оказываются в живом веществе телами резко различной устойчивости, *химически явно не идентичными*, чего никогда не наблюдается для них в косных естественных телах. Очевидно, наблюдаться и не может [14].

Он назвал это явление *диссимметрией*, но не обратил внимания и не связал с обычной в живом веществе *правизной–левизной*, с их морфологической и физиологической структурой. Он изучал это явление как кристаллограф и

химик, но не как биолог. Сам Пастер не дал более точного определения диссимметрии и не учитывал тех изменений, которые произошли в кристаллографии, когда он вернулся в последние годы своей жизни снова к этой проблеме. Гораздо большее значение имело сделанное при этом Пастером открытие *диссимметрии молекул*, совершенно аналогичной диссимметрии кристаллических многогранников. Оно вызвало создание целой новой науки – стереохимии. В связи с нею в химию вошло понятие *асимметрии* (т.е. отсутствия симметрии в пространственных формулах *окружения атома* углерода). Это слово одновременно в физике и в кристаллографии употребляется в совершенно отличном смысле, создавая путаницу.

11. Создалась путаница, мешающая работе. Диссимметрия молекул, открытая Пастером, указала, что в химической формуле, в том числе и в растворах, отражается присутствие живого вещества, выявляется в химических реакциях неравенство *правых и левых атомных структур*. Они химически различны в живом веществе, химически идентичны в косной химической среде. Пастер не знал, что в сущности (как это открылось после его смерти) то же явление он же открыл и в кристаллах. Ибо в них он имел аналогичное атомной структуре молекул распределение в пространстве правых и левых спиральных расположений *атомов*. Это точно вытекало из представления о *кристаллическом пространстве*, говоря современным языком, – геометрически построенном Е.С. Федоровым и К. Шёнфлиссом в конце прошлого века. Е.С. Федоров правильно видел в совпадении выведенных ими 230 (в действительности – 219) групп с распределением атомов в кристаллическом пространстве доказательство атомного строения химических соединений [15]. Окончательно это было доказано в XX столетии опытом – рентгенографическим анализом кристаллов. Современники Пастера – Зеебер, Ампер и Годэн – это предвидели, но Пастер стоял вне влияния их идей.

После Пастера П. Кюри обобщил понятие диссимметрии, рассматривая явление, открытое Пастером в организмах, как частный ее случай, и применил ее для основных физических явлений, электрических и магнитных полей и т.д. как основной постулат физики. Но Кюри не смог окончательно развить свои идеи; внезапная смерть прервала его работу в самом разгаре. В его бумагах не осталось никакого связного изложения достигнутых им результатов. Нужно только отметить, что Кюри доказал существование различных форм «диссимметрии» и логически вывел, что явление, связанное с какой-нибудь формой диссимметрии, должно иметь причину, обладающую той же формой диссимметрии [16]. Удобно называть этот вывод *принципом П. Кюри*.

При таком состоянии вопроса, я думаю, будет более правильным остаться в стороне от понятия и слова «диссимметрия» и употреблять вместо нее старинное, всем известное представление о различии правизны и левизны в организмах, так резко проявляющееся в человеке. Но так как есть теория (мне кажется, ошибочная) о проявлении правизны в человеке только в неолите, правильным будет принять для правизны–левизны более общее представление, которое употреблял Кюри перед смертью [17], понятие о *различных состояниях пространства*. Он не успел его за смертью оформить, но оно по существу, конечно, вполне отвечает разным формам диссимметрии, которыми занимались Кюри и Пастер. Это понятие было широко распространено среди натуралистов в области описательного естествознания и идет далеко в глубь

XVIII столетия. Здесь дело шло не раз о разном состоянии пространства на нашей планете в связи с ее обращением вокруг Солнца, о различии движений и явлений посолонь и противусолонь. Пастер признал возможность *разного состояния* космического пространства и этим объяснял проявление открытой им в живом веществе диссимметрии. По существу мы должны видеть в состоянии пространства основной *геометрический субстрат* всех материальных временных и энергетических его проявлений.

В данном случае это будет такое состояние пространства, в котором правизна и левизна, сводимые к правым и левым спиральным структурам атомов, химически идентичны в косных телах и различны в живых. Это одно из глубочайших геометрических свойств естественных тел осталось без достаточного внимания и в философии, и в математике, и в естествознании. Но в быту мы все знаем это явление хорошо. Оно известно нам с детства, ибо человек есть естественное живое тело, в котором правизна резко отлична (и химически) от левизны. Левши, например, встречаются один примерно на 16 тысяч человек. В последнее время эти явления начинают обращать на себя большое, но мне кажется, все еще недостаточное внимание в биологии [18].

Математики – геометры особенно – не могут оставлять его дальше вне круга своего зрения и должны разработать это основное *геометрическое явление*.

Я вернусь к вопросу о состоянии пространства в общем охвате и в связи с частным его проявлением в неравенстве правизны и левизны в следующем этюде о проблемах биогеохимии. Здесь я не могу дольше на нем останавливаться. Мне кажется, удобно говорить при этом о физическом пространстве, как предлагал это Гельмгольц.

12. Необходимо остановиться еще на одном явлении, далеко не охваченном научным обобщением *о проявлении действенной энергии живого вещества в биосфере*. Уже Р. Майер, почти сто лет назад, учитывал такое проявление живого вещества. Он указал, что в органогенных минералах – в ископаемых углях – мы имеем аккумулятор свободной энергии, захваченной в этой форме живым веществом каменноугольной эпохи, используем ископаемый солнечный луч того времени. Но в общей форме – о создании и накоплении *свободной энергии в биосфере живым ее веществом* и природными процессами, с ним связанными, – эта идея сложилась у многих в середине XIX столетия, когда создавалось само представление об энергии.

Я хочу здесь коснуться этого более конкретно: не как основной проблемы энергетики планеты, а как проблемы биогеохимической. Проявляемая живым веществом в биосфере свободная энергия, сводимая к работе, связанной с движением атомов, проявляющаяся в движениях живого вещества, была названа мною в 1925 г. *биогеохимической энергией* (§ 17, п. V). Так как биохимическая энергия чрезвычайно резко отличает живое вещество от косного, необходимо в общих чертах на этом здесь же остановиться.

13. Биогеохимическая энергия живого вещества теснейшим образом связана с тремя основными проявлениями живого вещества в биосфере: во-первых, *с единством в ней всего живого вещества*, во-вторых, с непрерывным созданием им в биосфере *свободной энергии, способной производить работу* и, в-третьих, *с заселением биосферы живым веществом*.

Во всех этих трех случаях проявление биогеохимической энергии различно, и взятая в целом *биогеохимическая энергия является неоднородной*. Она в конце концов связана с движением живого вещества в биосфере, с движением пассивным или активным (по отношению к живому веществу), связанным с передвижением масс живого вещества в биосфере, сводимым в конечном итоге к движениям атомов или химических элементов.

Из сказанного ясно, что биогеохимическая энергия не есть особая форма энергии, свойственная живому, это *не есть жизненная энергия*, проявления которой искал В. Оствальд, – аналогичная тепловой, химической, световой, электрической и т.п. энергиям. Она не касается закона сохранения энергии, но выявляется в нем в виде форм *энергий, уже раньше известных*.

Мы можем сейчас точно проследить реальные источники биогеохимической энергии. Ими являются в конечном счете энергия солнечных лучей (световая, тепловая и химическая) и энергия химических элементов, строящих тело живого вещества (энергия химическая и тепловая). Вероятно участие в ней и радиоактивных элементов.

Точный количественный учет калорического эффекта в жизненных процессах, мне кажется, бесспорно устанавливает такое ее происхождение. Она в сущности является следствием проявления *организованности биосферы и организованности живого вещества*, ее населяющего.

Я не могу здесь на этом останавливаться. Отмечу только главные формы ее проявления. Наиболее важной является *биогеохимическая энергия, связанная с заселением планеты*. Я пытался оценить ее в виде определенной для каждого вида живых веществ максимальной *скорости передачи его жизни*, – как я ее, может быть, неудачно, называл раньше – *т.е. скорости заселения всей планеты данным организмом*. Это энергия, связанная с *размножением организмов*. Каждое живое вещество может этим путем перемещаться по планете и в определенный срок, различный для каждого живого вещества, может теоретически заселить всю планету. В самых быстрых случаях это заселение может произойти для бактерий – в сутки–полтора, а для слона – одного из наиболее медленно размножающихся организмов – в тысячу – тысячу сто лет. При полном заселении живое вещество может покрыть всю поверхность планеты, т.е. оно заполнит все линии и площади, реально существующие на планете. Одну из этих кривых линий, линию земного экватора, т.е. точно *определенную максимальную по длине земную линию* (кривую) можно взять за параметр для сравнения, единый и общий для всех живых веществ. Когда я говорю здесь о заселении планеты, я предполагаю, что заселение идет в условиях, при которых оно могло бы продолжаться нормально и впредь, если бы этому не препятствовало отсутствие места – площади для заселения. Скорость заселения при этом может выражаться величиной v , которая колеблется в пределах от близких к скорости звука в воздухе, от больше 33 000 см/сек (для некоторых бактерий) до сотых долей сантиметра в секунду (для слона).

Другими словами, дело идет о длительном и прочном заселении планеты организмом в нормальных условиях его жизни, при которых он может существовать в ней поколениями, а не о том *взрыве* жизни, когда избыток народившихся организмов вымирает из-за недостатка пищи или места для жизни.

Представления эти не вошли пока в научное сознание. Я убежден, что дело будущего их использовать. Надо заметить, что скорость звука отвечает такому реальному условию, при котором воздушная среда, в которой организм жи-

вет, даже в случаях жизни водной (в природных водах есть своя подводная атмосфера), не разрушается в своем нормальном строении. Это показывает, что энергия биогеохимическая, так выраженная, почти достигла физически возможных ей пределов. Полученные таким образом скорости заселения могут быть количественно между собой сравнимы, и можно, например, утверждать, что для слона скорость заселения в 107 раз меньше, чем для бактерии.

Но биогеохимическая энергия заселения не охватывает всех проявлений этой энергии. Я здесь отмечу еще две ее формы. Во-первых, создание *массы живого вещества и ее сохранение* метаболизмом неизменно во время его существования. И, во-вторых, ту огромную новую форму биогеохимической энергии, какой в биосфере является техническая *работа человечества*, сложно руководимая его мыслью – сознанием. Любопытно, что рост машин с ходом времени в структуре человеческого общества тоже идет в геометрической прогрессии подобно тому, как идет размножение всякого живого вещества, людского в том числе.

Эти проявления биогеохимической энергии совсем уже не охвачены научным исследованием.

Настоятельно необходимо направить научную работу в эти области биогеохимии, не только ввиду их большого теоретического значения, но и ввиду, мне кажется, несомненного их значения для задач государственной жизни. Надо сознательно подходить в ней к происходящему сейчас стихийному процессу перехода биосферы в ноосферу.

Собрать факты и изучить проблемы, связанные с биогеохимической энергией, является для этого первоочередной задачей. Я не сомневаюсь, что это рано ли, поздно ли будет сделано. В книге своей я надеюсь вернуться к этому еще раз.

Основное своеобразное свойство биогеохимической энергии резко и ярко проявляется в росте *свободной энергии биосферы* с ходом геологического времени, особенно резко с проявляющимся переходом ее в ноосферу.

II. ТАБЛИЦА МАТЕРИАЛЬНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОТЛИЧИЯ ЖИВЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ ТЕЛ БИОСФЕРЫ ОТ ЕЕ КОСНЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ ТЕЛ

Отличия по энергетическим процессам живого вещества от косного укладываются в рамки тех же форм энергии, какие выявляются в косных естественных телах. Химический состав сводится в обеих формах естественных тел к тем же химическим элементам, но возможно, что в живом веществе атомные веса некоторых или всех элементов смещены. Основное отличие наблюдается в пространстве–времени живых веществ. Необходимо наряду с материей и энергией изучение проявления в нем времени. Допустима и требует проверки в связи с этим научная гипотеза об особой геометрической структуре пространства тел живого вещества, не отвечающего Эвклидовой геометрии, лежащего в основе материально-энергетических и временных свойств живого вещества, отличающего его от косных естественных тел биосферы.

14. На основании всего, что известно сейчас о биосфере, попробую сжато выразить, *вне всяких теорий и гипотез*, то резкое отличие живого вещества биосферы от косных ее естественных тел, которое так резко и характерно для земной оболочки, для нас наиболее близкой и родной. Мне кажется, что это

нужно и важно сделать теперь же, до выхода моей книги – когда-то это еще будет. В такой форме и в таком аспекте, сколько знаю, это никогда еще не было сделано и, следовательно, не могло в целом обсуждаться, – важнейшая проблема лежит вне кругозора натуралиста.

Чрезвычайно важно, чтобы натуралисты подумали над пониманием такого основного явления в биосфере.

Важно, чтобы в их распоряжении были при этом не столько теоретические научно-философские представления о жизни, которые сейчас занимают мысль философа, сколько те точные данные, которые охватывают биологию, и все ее «определения жизни», которые с ними связаны.

В ниже приводимой таблице, мне кажется, я даю только такие эмпирически обобщения и не выхожу из области научных фактов. Как раз на эту сторону вопроса сейчас необходимо обратить внимание и их-то и надо принять за основу научной работы.

15. Непереходимое резкое различие между живым естественным телом и косным естественным телом биосферы может быть сведено в сжатой форме к следующей таблице.

Таблица материально-энергетического отличия живых естественных тел биосферы от ее косных естественных тел

Косные естественные тела	Живые естественные тела
<p>I. Среди косных <i>дисперсных</i> естественных тел биосферы нет тел, аналогичных телам живым. Дисперсные косные формы сконцентрированы, как и живые, в биосфере, но они идут много глубже ее. Глубже, по-видимому, в гранитной оболочке [19] их существование заглушается давлением.</p> <p>Они создаются в биосфере при умирании живого вещества (например, микроскопических организмов), из его отбросов и выделений, при движении газов или жидких фаз в ветрах, в движущихся водах, в нефтях и т.п. Они вносятся также в биосферу из нижних ее частей газами или жидкостями, вулканическими взрывами и извержениями, тектоническими движениями из более нижних земных оболочек. Они создаются обычными физико-химическими процессами и синтетически воспроизводятся в условиях наших лабораторий.</p> <p>Постоянно и непрерывно идет проникновение в биосферу дисперсных косных тел – космической пыли и метеоритов из космических просторов, – частью из галаксии.</p>	<p>I. Живые естественные тела проявляются только в биосфере и <i>только в форме дисперсных тел</i>, в виде живых организмов и их совокупностей – живого вещества. Они наблюдаются как в макроскопическом (поле тяготения), так и в микроскопическом разрезе реальности.</p> <p>Синтез живого естественного тела не был никогда воспроизведен. Выяснилось, что есть для этого какое-то основное условие, в лабораториях отсутствующее.</p> <p>Л. Пастер видел его в отсутствии в условиях лаборатории диссимметрии – особого состояния пространства (§ 10–11).</p> <p>Возможно, но до сих пор не доказано проникновение живых естественных тел в биосферу из космического пространства.</p>

Косные естественные тела	Живые естественные тела
<p>II. Косные естественные тела чрезвычайно разнообразны и взятые в целом никакой единой генетической связи между собой не представляют.</p> <p>Ничего общего, единого, аналогичного клетке, протоплазме и размножению – общих для всех естественных живых тел проявлений – для косных естественных тел биосферы нет.</p> <p>III. В косных естественных телах и в природных явлениях нет различия в химических проявлениях правизны и левизны для одного и того же химического соединения. Эти тела химически в них <i>идентичны</i>. Правизна и левизна строго подчинены законам симметрии твердого однородного тела (монокристалла). В частности, количество правых и левых кристаллических многогранников одного и того же химического соединения, одновременно образующихся в косной среде, – одинаково. «Дисперсные капли» [20], т.е. однородные кристаллические многогранники, – индивиды твердого химического соединения, во внутреннем своем строении резко отличаются от обыкновенного (изотропного) пространства Эвклидовой геометрии, но из рамок этой геометрии не выходят.</p> <p>Правизна и левизна в косных естественных телах геометрически и химически тождественны. Всегда оба проявления присутствуют в одинаковом числе и химически неотличимы. Можно утверждать, что эта тождественность – химическая – правых и левых форм есть неизбежное <i>проявление атомного</i> строения однородного твердого химического соединения и физического, материально так выраженного, геометрического пространства Эвклида. Это, с одной стороны, проявление атомного строения, а с другой – геометрии Эвклида [22].</p>	<p>II. Живые естественные тела представляют собой нечто единое <i>целое</i> – <i>живое вещество биосферы</i> – как <i>морфологически</i>, имея <i>единую морфологическую единицу–клетку</i>, так и <i>материально-структурно</i>, имея <i>единую протоплазму</i>, и, наконец, – <i>динамически-структурно</i>, <i>всегда обладая размножением</i>.</p> <p>Едва ли можно отрицать, что такое единство всех живых естественных тел связано с их генетическим единством в ходе времени.</p> <p>III. Химическое различие правых и левых форм одного и того же химического соединения характеризует состояние <i>физического пространства</i>, занятого телом живого организма, и его проявлений в окружающей его среде, в биосфере. В твердых (кристаллических и мезоморфных) и жидких продуктах, образуемых биохимическими процессами, это химическое неравенство резко проявляется. Преобладают или правые, или левые изомеры. Это проявляется резко и глубоко в свойствах живого вещества биосферы, вплоть до молекул, строящих его тела. Законы симметрии твердого кристаллического состояния материи резко нарушены.</p> <p>Такие состояния пространства, занятого телом живого вещества, создаются в биосфере только из ранее существовавших живых естественных тел. Получаются рождением (принцип Реди) [21].</p> <p>Можно здесь видеть проявление принципа Кюри (§ 11).</p> <p>По-видимому, прав Л. Пастер, что для <i>основных для жизни первичных химических соединений</i> существуют внутри тела организма (в его физическом пространстве) только стерически <i>левые изомеры</i>, правые или не появляются, или перерабатываются организмами. К сожалению, до сих пор это огромной важности явление, легко поддающееся решению, остается нерешенным и пока только очень вероятным.</p>

Косные естественные тела	Живые естественные тела
<p>IV. Новые косные естественные тела создаются в биосфере физико-химическими и геологическими процессами безотносительно от ранее бывших естественных тел, живых или косных; они образуются бесчисленными путями из естественных тел, на получаемый продукт обычно непохожих.</p> <p>Косные тела могут образовываться в живых естественных телах. Ничего подобного размножению и созданию косных естественных тел в биосфере нет.</p> <p>Нет никакого изменения косных естественных тел биосферы, аналогичного эволюционному процессу живых веществ. Мы сейчас видим в биосфере в общем те же самые косные естественные тела и те же явления их образования на протяжении по крайней мере двух миллиардов лет. В течение геологического времени появляются новые косные тела только под влиянием эволюционного процесса живых веществ. Резко и мощно они создаются, – и значение их растет, – <i>в ноосфере</i> в современную эпоху, в результате творчества человечества.</p>	<p>IV. Новое живое естественное тело, живой организм – рождается только из другого живого организма, ему подобного. Во времени чередуются для каждого живого вещества свои, определенным темпом образованные, <i>поколения</i> (принцип Реди).</p> <p>В геологическом времени, на протяжении по крайней мере двух миллиардов лет, живые вещества являются <i>пластичными</i> – идет процесс <i>эволюции видов</i>. По-видимому, по не вполне еще выясненным законам (частью процесс мутации?) для разных живых веществ временами наблюдается новое поколение, морфологически и физиологически измененное, явно отличное от предыдущего, – создается новое <i>видовое живое вещество</i>. Наблюдается в течение не менее двух миллиардов лет <i>единый эволюционный процесс</i>, тесно связанный с историей планеты. Как показал Дана (1852) [23], в ходе времени неизменно, но с большими остановками, порядка десятков, может быть, сотен миллионов лет, идет при этом образование в биосфере в ее живом веществе все более и более функционально мощно выраженного <i>центрального нервного аппарата – мозга</i>.</p> <p>Благодаря этому с конца плиоцена геологическая роль живого вещества в биосфере резко растет – дала скачок. Благодаря человеческому творчеству биосфера быстро переходит в новое состояние – <i>в ноосферу</i>.</p>
<p>V. В косном естественном дисперсном теле – в твердом или в мезоморфном – нет специально естественного ему движения, как целого естественного тела. Его нет и в жидких и в газообразных косных телах, которые состоят из сложно подвижных молекул и принимают форму вместилищ, в которых они находятся. Газообразные тела оказывают при этом давление на стенки замкнутых вместилищ. Их движение определяется законами температуры и давления.</p>	<p>V. Живых жидких и газообразных естественных тел в биосфере нет. Жидкости и газы в каждом живом теле смешаны с коллоидальными – мезоморфными и твердыми структурами.</p> <p><i>Произвольное движение, в значительной степени саморегулируемое, является общим признаком всякого живого естественного тела в биосфере.</i></p> <p>Есть две формы такого движения для живого вещества. Одна – <i>пассивная</i> – создается – размножением, и <i>есть общее свойство всех живых веществ</i>. Другая – <i>активная</i> – выражается для огромного большинства животных и для меньшинства растений произвольным передвижением отдельных особей и их колоний в <i>среде живого вещества</i>.</p>

Косные естественные тела	Живые естественные тела
<p>VI. Косное естественное тело безуподобно косно. Оно меняется от внешних причин, в биосфере выветривается, причем этот биокосный процесс идет медленно и проявляется в геологическом времени. Косное тело не растет и, по-видимому, не увеличивается в своей массе.</p> <p>Ничего аналогичного <i>росту</i> (и размножению) живых организмов мы для косного тела не имеем.</p> <p>Когда рост организма сравнивают с ростом кристалла, – это недоразумение, которое становится ясным при первом прикосновении логического анализа. Атомы косного тела не выявляют внутри него никаких признаков движения, аналогичного биогенной миграции атомов.</p> <p>VII. Число косных естественных тел биосферы определяется общими свойствами материи–энергии. Оно не явно зависит от размеров планеты.</p> <p>Биосфера получает и отдает непрерывно материю–энергию космическим пространствам. Существует здесь непрерывный материально-энергетический обмен косными естественными телами.</p>	<p>Первая форма движений – растекание в биосфере или <i>заселение биосферы</i> – по характеру своих законов аналогична газовой массе и подобно ей оказывает давление, величина которого зависит от темпа размножения (биогеохимическая энергия заселения). Скорость заселения в пределе биосферы живым веществом достигает физически возможного максимума – <i>скорости звука в газовой среде дыхания</i> [24].</p> <p>Для микроскопических организмов, живущих в жидкостях, есть еще форма движений, сводимая к молекулярному движению жидкостей, нам видная в Броуновическом движении.</p> <p>VI. Живое естественное тело живет, т.е. <i>растет и размножается</i>.</p> <p>Благодаря этому каждый живой организм является источником и центром <i>биогенной миграции атомов</i> из биосферы в организмы и обратно. Тем самым он является источником <i>свободной энергии в биосфере</i> – свободной биогеохимической энергии.</p> <p>Этим биогенным током атомов создается – биохимическим путем – бесчисленное количество химических молекул в живом веществе, которое непрерывно меняется. Получаемые в организмах химические соединения могут быть большей частью другими приемами созданы в наших лабораториях. В биосфере они почти все образуются <i>только</i> в живом веществе.</p> <p>В живом веществе их синтез идет с недостижимой пока и неслыханной для наших лабораторий скоростью.</p> <p>Благодаря этому биогеохимическая энергия выдвигается в биосфере по мощности как основная сила изменения биосферы.</p> <p>VII. Число живых естественных тел биосферы количественно связано с размерами биосферы.</p> <p>Допустима, но требует проверки рабочая научная гипотеза о космическом обмене живых естественных тел.</p>

Косные естественные тела	Живые естественные тела
<p>По-видимому, здесь наблюдается установившееся динамическое равновесие – проявление той же организованности (а не механизма), какая характерна для биосферы и для живого вещества.</p> <p>VIII. Площадь и область проявления косных естественных тел в биосфере ограничены ее размерами и могут увеличиваться только с ее ростом.</p> <p>По-видимому, в ходе геологического времени биосфера увеличивается движением живого вещества. В этом процессе косные естественные тела биосферы играют пассивную роль.</p> <p>IX. Минимальный размер косного естественного тела биосферы определяется дисперсностью материи–энергии – атомом, электроном, нейтроном и т.д. Максимальный размер определяется размерами биосферы – биокосного естественного тела. Диапазон огромный – 10^{40}, вероятно, больше.</p> <p>X. Химический состав косных естественных тел биосферы является функцией состава и свойства окружающей среды, в которой они <i>создаются</i>. Он пассивно определяется структурой биосферы в течение геологического времени.</p> <p>XI. Количество разных химических соединений – молекул и кристаллов – в косных естественных телах биосферы (и в земной коре) <i>ограничено</i>. Существуют немногие тысячи таких молекул и кристаллов. Этим определяется небольшое, по существу, число форм косных естественных тел биосферы.</p>	<p>VIII. Масса живых веществ биосферы близка к пределу и, по-видимому, остается подвижно неизменной <i>в течение исторического времени</i>. Она определяется прежде всего лучистой солнечной энергией, попадающей в биосферу, и биогеохимической энергией заселения планеты.</p> <p>По-видимому, масса живого вещества растет в ходе геологического времени, и процесс захвата земной коры живым веществом еще не закончен.</p> <p>IX. Минимальный размер живого естественного тела определяется <i>дыханием</i>, т.е. газовой биогенной миграцией атомов (в конце концов – числом Лешмида). Он порядка 10^{-6} см. Максимальный размер в течение двух миллиардов лет не превысил немногих сотен метров. Причина этого не выяснена. Диапазон небольшой: 10^9.</p> <p>X. Химический состав живых естественных тел создается <i>ими самими</i>. Питанием и дыханием они выбирают для своего бытия и для создания новых живых естественных тел нужные им химические элементы (автаркия живого вещества). По-видимому, они могут менять при этом состав изотопических смесей (менять атомные веса химических элементов).</p> <p>Так, они создают сами основную часть своего тела, как в определенных рамках независимые, автономные тела в биосфере – в большом биокосном естественном теле планеты.</p> <p>XI. Количество химических соединений – молекул и кристаллов – в живых естественных телах <i>не ограничено</i>. Они связаны с индивидуальностью и различны в каждой особи живого вещества. Мы знаем уже <i>миллионы</i> видов организмов и <i>миллионы миллионов</i> отвечающих им различных молекул и кристаллических решеток. Хотя далеко не все они описаны, но научного сомнения в таком их характере быть не может.</p>

Косные естественные тела	Живые естественные тела
<p>ХII. Все природные процессы в области естественных косных тел – за исключением радиоактивности – уменьшают свободную энергию биосферы (физико-химические процессы обратимы). Этим путем <i>свободная</i> энергия биосферы уменьшается, увеличивается ее <i>энтропия</i>.</p>	<p>ХII. Природные процессы живого вещества в их отражении в биосфере увеличивают ее свободную энергию (т.е. уменьшают ее энтропию). В результате этого процесса <i>свободная энергия биосферы увеличивается</i>, выражая этим основное значение живого вещества в структуре биосферы – и тем самым планеты.</p>
<p>ХIII. Химический состав косных естественных тел может отвечать почти теоретически чистому химическому соединению с точными стехиометрическими отношениями между элементами. В минералах преобладают твердые растворы (изоморфные смеси).</p>	<p>ХIII. В живых веществах биосферы всегда наблюдаются чрезвычайно сложные смеси химических молекул. Это всегда тела мезоморфной структуры (коллоидальные, реже кристаллические и т.д.). <i>Молекулы воды</i>, химически и физически связанные, в значительной мере сохраняющие свои характерные свойства, резко преобладают (вне стадий латентных состояний живого вещества). Они составляют по весу от 60 до 99% (может быть, больше). В латентных состояниях количество этих молекул колеблется от 4 до 15% (может быть, меньше).</p>
<p>Во всех косных телах рассеяны свободные атомы химических элементов. Они проникают все земное вещество, не входят в состав молекул, не всегда входят в узлы пространственных решеток.</p>	<p>Стехиометрических отношений в валовом химическом составе живых тел нет. Но химический состав их строго определен и более постоянен, чем химический состав изоморфных смесей природных минералов. Он является характерным <i>видовым, расовым</i> и т.д. <i>признаком каждого живого вещества</i>.</p>
<p>Сейчас известны два непрерывно идущих проявления <i>рассеяния атомов</i>: проникающие (космические) излучения и радиоактивные процессы, непрерывно воспроизводящие рассеяние атомов – всегда бранных – в земном косном веществе биосферы. Значение этого явления едва начинает нами сознаться. Оно требует теоретической и экспериментальной обработки.</p>	<p>В таком аспекте для живого вещества, взятого в целом, нет особых биогенных химических элементов. Все элементы биосферы им захвачены. Но характерно, что для всякого химического элемента в его геохимии в биосфере есть живые вещества, которые его концентрируют и этим отличаются от других живых веществ. <i>Роль живого вещества здесь явно планетного характера</i>.</p>
	<p>Очевидно, элементы воды – кислород и водород – господствуют в подавляющей массе живого вещества. Преобладающие, за их исключением, элементы протоплазмы (C, N, P, S, K, Na, Cl, Ca, Fe, Si, Mg и т.д.) должны быть характерны для всех организмов. Элементы скелетных частей, может быть, в общем в биосфере играют еще более важную роль: Fe, Ca, Mg, P, S, N, C, H, O, Mn, Si).</p>

Косные естественные тела	Живые естественные тела
<p>XIV. Изотопические смеси (земные химические элементы) заметно не меняются в косных естественных телах <i>биосферы</i> (за исключением радиоактивного распада).</p> <p>По-видимому, существуют природные процессы <i>за пределами биосферы</i>, – например, движения газов под высокими давлениями и при высокой температуре в земной коре, – которые нарушают изотопическую смесь. Эти смещения не нарушают общего постоянства в первом приближении атомных весов, ибо для метеоритов (галактического вещества) в изученных случаях получается тот же атомный вес с точностью до второй десятичной.</p> <p>Одной из основных задач геохимии в данный момент является более точное определение атомного веса химических элементов косных тел, чем это возможно химическим путем.</p> <p>XV. Для подавляющего большинства твердых и мезоморфных естественных тел биосферы характерна их устойчивость в течение геологического времени, – больше двух миллиардов лет, по крайней мере. Этим объясняется не многочисленность их видов. В. Брагг правильно указал, что среди кристаллических</p>	<p>Число <i>необходимых</i> для каждого видового вещества, для его длительной нормальной жизни, химических элементов быстро при изучении увеличивается и сейчас для более изученных доходит до 60. Без них их нормальное длительное существование невозможно. Рассеянные элементы (главным образом, так называемые <i>микроэлементы</i>) часто играют первостепенную роль. Можно думать, что число элементов в каждом живом веществе превышает 80.</p> <p>Явления рассеяния химических элементов проявляются здесь так же, как в косных естественных телах. Этот процесс, по-видимому, выходит за пределы вещества планеты.</p> <p>XIV. По-видимому, изменение (в определенных пределах) их изотопических смесей (атомного веса) является <i>характерным для живого вещества</i> свойством. Доказано это для водорода, для углерода и калия, вероятно, для кислорода и азота. Явление настоятельно требует точного изучения [25].</p> <p>Становится более чем вероятным, что, входя в живой организм, химический элемент меняется в своем изотопическом составе.</p> <p>Так как этот процесс должен быть связан с затратой энергии, то надо ждать, что в биогенной миграции химических элементов, которая связывает живое и косное вещество в биосфере, должна наблюдаться резкая задержка выхода этих элементов из циклов биогенной миграции.</p> <p>Это явление давно было отмечено К.М. фон Бером для азота. Возможно, что это общее явление.</p> <p>XV. Резко отличающуюся картину представляют собой живые естественные тела биосферы.</p> <p>Огромное большинство их меняется в своей форме эволюционным процессом и переход в другие видовые или родовые живые вещества. <i>Это есть проявление времени в живом веществе биосферы.</i></p>

Косные естественные тела	Живые естественные тела
<p>структур (и, очевидно, молекул) космоса выявляются только наиболее устойчивые и прочные в ходе времени. Мне кажется, можно видеть в этом факте проявление очень длительного состояния того космоса, который мы изучаем.</p> <p>Изучение радиоактивности горных пород показывает, что атомы основного вещества литосферы <i>не смещаются с места в течение сотен миллионов лет до двух миллиардов</i>, находясь все время в движении.</p> <p>XVI. Все физико-химические процессы в косных естественных телах обратимы во времени.</p> <p>Пространство, в котором они имеют место, – пространство Эвклидовой геометрии, – отвечает изотропному или анизотропному, кристаллическому, его состоянию [27].</p>	<p>Это проявление гораздо более сложное, чем это представляется нам в нашем понимании эволюции. Ибо до сих пор эволюционный процесс не охвачен числом, не учтен (что сейчас возможно) количественно темп его изменения. При всей пластичности живого вещества есть случаи для некоторых живых веществ полной неподвижности. Организм не меняется в своей морфологически-физиологической структуре, оставаясь в современной биосфере живым свидетелем ее прошлого. Дело идет о сотнях миллионов лет (радиолярии с альгонгка, лингулы с кембрия в течение более полумиллиарда лет). К сожалению, это <i>явление морфологического постоянства</i> не изучено до сих пор биологами (персистенты) [26].</p> <p>В живых телах происходит, по-видимому, непрерывная миграция атомов, резко противоположная их неподвижности в ходе времени в косных атомных структурах. Метод меченых атомов начинает вскрывать перед нами новый процесс непрерывного биогенного замещения внутри молекул однозначных атомов друг – другом – <i>непрерывный внутримолекулярный биогенный ток атомов</i>.</p> <p>XVI. Физико-химические процессы, создающие живое естественное тело в биосфере, необратимы во времени. Возможно, что это окажется следствием особого состояния пространства–времени, имеющего субстрат, отвечающий не-Эвклидовой геометрии.</p> <p>Это можно сейчас высказать как научную рабочую гипотезу, подлежащую проверке. Из нее логически следует допущение, что в <i>нашей реальности существуют явления перехода состояний пространства, геометрически разных, одно в другое</i>. Существование живого вещества биосферы земли есть одно из проявлений этого рода.</p>

III. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РАЗЪЯСНЕНИЯ

Допустимость представлений о разных одновременно существующих в биосфере состояниях пространства–времени. Ее геометрическая неоднородность. Время должно изучаться в ней так же, как материя и энергия. Рабочая гипотеза об особом геометрическом состоянии живого вещества биосферы, отвечающем одной из Римановских геометрий.

16. Анализируя таблицу (§ 15), мы видим, что различия между живыми и косными телами в биосфере могут быть сведены к трем основным параметрам: 1) различия по энергии, 2) различия по химическим проявлениям и 3) различия по пространству–времени.

Мне кажется, что первые параметры не требуют особых толкований с точки зрения научной работы. Когда исходили в объяснении природы от человека, неизбежно брали его как мерило для сравнения и тем самым признавали примат философии над наукой. В связи с этим думали видеть в живых естественных телах проявление особой *жизненной силы* (исходя из вдумывания в психические процессы), резко и определенно отличающей живое от мертвого. Я оставляю в стороне еще более ранние воззрения анимистического характера. Из области современной науки все эти представления, и новые и старые, ушли или уходят в прошлое.

Новые виталистические представления основываются не на научных данных, – являющихся для них скорее иллюстрацией, – а на философских представлениях (например, энтелехия Дриша и т.п.). Также скорее связано с философскими, чем с научными данными представление об особой *жизненной энергии* (В. Оствальд). Факты не подтвердили ее реального существования.

Происхождение энергии живого вещества (§ 7) не вызывает сомнений. Количественные опытные подсчеты это подтверждают.

17. Равным образом нет надобности останавливаться на химическом составе. Нет, как недавно еще думали, особых, жизнь несущих биогенных химических элементов (§ 15, п. XIV).

Не исключена возможность, впрочем, другого их атомного веса, но вне биосферы (может быть, и в ней иногда?) аналогичные изменения должны происходить и в косных естественных телах. Все эти явления требуют систематического научного изучения.

Несомненно, подавляющее количество биохимически образующихся молекул резко иное, чем химические соединения косных естественных тел. В последних они не образуются. Но благодаря биогенной миграции они образуются в геохимических круговоротах биосферы, в которых атомы безразлично переходят из живого в косное тело и обратно [28]. Реакция идет за счет одной и той же энергии.

Надо учитывать возможность задержки химических элементов в биогенной миграции в случае изменения их атомного веса (§ 15, п. XIV). Это решится опытом и наблюдением в ближайшее время.

18. Но для пространства–времени дело обстоит более сложно. Здесь мы вступаем, с одной стороны, в область научно не исследованного, а с другой, – в такой субстрат всех природных явлений (в их геометрию), который натуралист привык оставлять без внимания в своих научных работах.

Этот субстрат – геометрическое состояние физического пространства – лежит глубже, чем все физико-химические явления. Но, пожалуй, он еще более реален, чем они.

Сейчас, – иногда ошибочно утверждаемое как аксиома, – господствует представление, что во всех земных явлениях проявляется одна и та же геометрия. Но натуралист не может строить свои представления на аксиомах хотя бы логики, так как аксиоматический их характер не может быть доказан иначе, чем научным опытом и наблюдением. Логика всегда менее объемлюща, чем природа (биосфера в данном случае), так как она отвечает отвлечению, т.е. упрощенной картине природы.

Считаясь с *возможностью* одновременного проявления разных геометрий на нашей планете, мы должны опытным путем проверить их реальность. Если натуралист подходит к явлениям, которые позволяют это проверить опытом и наблюдением, он обязан это сделать.

До нашего века в научно изученных явлениях считались только с Эвклидовой геометрией трех измерений. В новых научно-философских концепциях, связанных с построениями Эйнштейна, реально считаются с пространством четырех измерений, причем это пространство отвечает, по мнению некоторых, пространству не Эвклида, а Римана. Теоретическая физическая мысль правильно ищет здесь новых путей, но она не доводит своего анализа до конца, как этого требует логика.

19. Прежде чем идти дальше, необходимо выяснить, насколько возможно допустить в нашей научной реальности проявление в разных ее местах *одновременно пространств, характеризующихся разными геометриями*.

Мне кажется, что сейчас, не подвергая этот вопрос анализу, исходят из того, что это невозможно. Это можно видеть из истории геометрии. В свое время Лобачевский допускал возможность, что не-Эвклидова геометрия, а новая, им открытая, определяет структуру пространства научной реальности. Он попытался подойти экспериментально к проверке своего вывода, к реальному измерению максимальных звездных треугольников на небесном своде. В настоящее время Эддингтон пытается выявить реальное пространство четырех измерений – одно из Римановских, – отвечающих Эйнштейнову представлению о космосе.

Но это лишь самое простое, наиболее отвлеченное представление о космосе, которое может удовлетворить геометра и теоретика-физика, но противоречит всему эмпирическому знанию натуралиста.

Возможно логически и другое представление – представление о *геометрической неоднородности реальности*, более близкое к точному эмпирическому знанию, столь же не противоречащее научно известному – допущение, что в *научно изучаемых явлениях в разных случаях и в разных проявлениях космоса могут сказываться разные геометрии*.

Гипотеза об единой геометрии для всего космоса, всей реальности, неразрывно связана с гипотезой о происхождении положений геометрии, как особых свойств нашего разума. История геометрии этому противоречит.

20. Меня к этому приводят следующие соображения. Мы знаем теперь, что геометрий может быть множество и что все они могут быть распределены на три типа – Эвклида, Лобачевского и Римана – и что все они безупречны и

одинаково верны. В настоящее время с успехом идет обобщающая работа, которая может всех их привести к *единой обобщающей геометрии*.

В настоящее время история науки ясно доказывает, что геометрия и ее законы в своих основах выявлены эмпирическим путем, так же, как и все другие научные обобщения свойств материи и энергии. В основе, из которой дедуктивным путем выведены эти законы, лежит точное научное наблюдение и опыт мыслителя. Едва ли можно исходить сейчас в области научного ведения из других философских и ненаучных представлений об их генезисе и видеть в них логическое выявление нашего разума. Я предпочитаю всегда, когда это научно допустимо, не сходить с научного эмпирического базиса.

Исходя из этого, можно, если нужно, допустить, что реальность геометрически неоднородна и что в разных явлениях могут проявляться разные геометрии и что мы должны с этим считаться в нашей научной работе. *В биосфере мы такую геометрическую неоднородность имеем перед собой.*

21. Пространство для нас неотделимо от времени. Это представление не является следствием теоретических положений Эйнштейна и получено независимо от них и много раньше. Я пытался это выявить в другом месте [29].

Мы переживаем сейчас в науке чрезвычайно важную эпоху ее развития. Впервые объектом ее исследования является *время*, долгие века находившееся вне ее кругозора. Это обстоятельство характеризует науку нашего времени и отличает ее от науки XIX столетия. Сейчас становится ясным, что время есть чрезвычайно сложное проявление реальности, и содержание этого понятия чрезвычайно различно.

Говоря о пространстве–времени, мы только указываем на неотделимость их друг от друга. *Для науки нет пространства без энергии и материи и в таком же смысле и без времени.* Представление Минковского и его предшественников [30] о времени, как о четвертом измерении пространства, есть математическое отвлечение, логически не имеющее почвы в научной реальности, фикция, не отвечающая реальному содержанию науки, ее представлению о времени. Время не есть измерение метрической геометрии. В геометрии, конечно, время может быть выражено вектором. Но явно такое его выражение совсем не охватывает всех его свойств в природных явлениях, изучаемых натуралистом, и ничего ему реального в смысле знаний не дает. Оно ему не нужно.

Наука XX столетия находится в такой стадии, когда *наступил момент изучения времени, так же, как изучается материя и энергия, заполняющие пространство.* Время Минковского как четвертое измерение Эвклидова пространства не отвечает времени, реально наблюдаемому в физическом пространстве. Мы не должны забывать, что в конкретной научной работе мы, вообще говоря, не имеем дела с абстрактным абсолютным пространством геометрии. Мы имеем дело на каждом шагу с гораздо более сложным *реальным пространством природы.*

В вакууме и очень часто в газообразной среде мы можем без поправок чрезвычайно часто пользоваться всеми выводами из свойств абстрактного пространства Эвклидовой геометрии. Однако не всегда. Но уже в жидкостях и в твердых телах в большинстве проблем, перед нами стоящих, мы этого делать не можем. В связи с этим, как мы увидим, удобно отличать реальное пространство природы – в данном случае биосферы – от геометрического

пространства, как *пространство физическое*, как это, кажется, предложил впервые Гельмгольц.

Точно так же и *время* натуралиста не есть геометрическое время Минковского и не время механики и теоретической физики, химии, Галилея или Ньютона.

В § 15 указано резкое эмпирическое различие времени для живого и косного естественного тела биосферы. В живом оно проявляется в *поколениях*, – явление, абсолютно отсутствующее в косных телах.

Смена поколений есть своеобразное биологическое проявление времени, резко отличающее одно живое вещество от другого, с различным для каждого масштабом сравнения. Возможно найти для них и общий масштаб.

22. Исходя из всего выше сказанного, удобно для постановки научной работы принять как рабочую научную гипотезу, что пространство внутри живого вещества есть иное, чем внутри косных естественных тел биосферы, что это пространство не отвечает особому его состоянию в пределах Эвклидовой геометрии и что время выражается в нем полярным вектором. Существование правизны и левизны и физико-химического их неравенства указывает на другую, чем Эвклидова, геометрию – геометрию пространства внутри живого вещества.

Из моих обсуждений с геометрами для меня выяснилось, что геометрия, отвечающая требуемым условиям, не разработана. Требуется новая исследовательская работа геометров. По указанию Н.Н. Лузина и проф. С.П. Финикова, возможно, что это одна из геометрий типа Римановских, может быть, одна из геометрий, указанных, но не разработанных Картаном. Эта геометрия сводит все пространство к точке, снабженной зародышем вектора.

Было бы желательно, чтобы эти вопросы обратили на себя внимание геометров. Исследовательская работа натуралистов в действительности всегда опирается на математические построения геометров. Без этого она не может правильно развиваться. С другой стороны, математическая мысль растет и раскрывает свои новые области, когда научная мысль или окружающая жизнь ставит перед ней новые проблемы. Такой новой проблемой является *геометрический характер пространства, занятого живым веществом биосферы*. Для него характерны полярные векторы (т.е. отсутствие центра симметрии и сложной симметрии), неравенство правизны и левизны (их несвязанность или неполная связанность), резкая химическая нетождественность правых и левых явлений и соединений – атомных структур (молекул и монокристаллов). Характерно бросающееся в глаза отсутствие в живых организмах плоских поверхностей и прямых линий; симметрия живых организмов отличается кривыми линиями и кривыми поверхностями, характерными для Римановских геометрий. Еще один признак, обычный для Римановских геометрий: это пространство конечное, замкнутое, резко отделяющееся от окружающего, само себе довлеющее. Это вполне отвечает обособленности живых организмов в биосфере, их автаркии.

Какая же из множества Римановских геометрий сюда подойдет? Каковы ее геометрические свойства?

Мне кажется, эта задача не может оставаться вне внимания со стороны наших геометров. Она заслуживает их внимания сама по себе как геометрическая проблема.

Тем более что она связана с еще более общей проблемой физической – с вопросом о геометрических состояниях *физического пространства*, чрезвычайно мало затронутого философской и физической мыслью.

В следующем очерке я попытаюсь дать понятие об этой проблеме.

Считаю приятным долгом выразить благодарность Н.Н. Лузину и С.П. Финикову, помогшим мне ценными указаниями в беседах со мною.

Узкое. Июнь, 1938 г.

ЛИТЕРАТУРА [И ПРИМЕЧАНИЯ]

1. *В. Вернадский*. Проблемы биогеохимии. I. Значение биогеохимии для познания биосферы. Изд. 2-е (первое – в 1934 г.). Л., 1935.
2. *E. Le Roy*. L'exigence idealiste et le fait d'evolution. P., 1927, p. 196.
3. *В. Вернадский*. Биосфера. Л., 1926. *В. Вернадский*. Тр. Биогеохим. лабор. I. Л., 1930. *W. Vernadsky*. La biosphère. P., 1930. *Его же*. Очерки геохимии. 1934. *Его же*. Биогеохимические очерки. М., 1939 (в печати).
4. *В. Вернадский*. О пределах биосферы. Изв. АН СССР. Серия геол., 1937, стр. 3 сл.
5. *В. Вернадский*. Биосфера. Л., 1926. *Его же*. Очерки геохимии. Изд. 2-е. Л., 1934 (по-французски впервые в 1924 «La géochimie»). *Его же*. Проблемы биогеохимии. I. Изд. 2-е. Л., 1935.
6. *В. Вернадский*. Очерки геохимии. Л., 1934, (лит.). *Его же*. Биогеохимические очерки. М., 1939 (в печати, дана лит.).
7. *В. Вернадский*. Очерки и речи. Пг., 1922, с. 77–92. Проблемы биогеохимии, I. Л., 1935.
8. Мне приходится вводить для этого старого понятия *новое слово*, хотя всем ясно огромное значение понятия, им охватываемого, и то исключительное значение, которое работа над научным аппаратом имеет и по времени и по труду, на нее затрачиваемым, в жизни научных исследователей. Это является следствием пережитков прошлого, того времени, когда философская работа – тогда по праву – считалась основной по сравнению с научной работой.
9. *Я. Самойлов*. Биолиты. М., 1927.
10. О принципе Реди см. *В. Вернадский*. Очерки геохимии. 4-е изд., Л., 1934, с. 209 (дана лит.).
11. Для вирусов не ясно до сих пор, имеем ли мы дело с новой формой организма («живым белком») или с белком, включающим споры мельчайших организмов. *Кристаллизацией* – как думают – белок от этих спор очищен быть не может.
12. *В. Вернадский*. Проблемы биогеохимии, I. Л., 1935, с. 8 сл.
13. Роль А. Вёшамп (1816–1908) выяснилась в последнее время. См.: *A. Béchamp*. Les grands problèmes médicaux. P. 1905 (резкий, явно пристрастный памфлет против Л. Пастера, но он заключает ряд важных документов и фактов). Ср. *E.D. Hume*. Béchamp or Pasteur. 2 ed. L., 1932.
14. Об этом см. *В. Вернадский*. Докл. АН СССР, 1939 (печ.).
15. *P. Croth*. Zeitschr. f. Kryst. 1915, p. 67. Л. Зеебер (1793–1855), первый к этому представлению подошедший, не оказал влияния на его понимание. Оказал больше всего умерший в расцвете сил Л. Зонке (1842–1897) и исходивший из его идей П. Грот (1843–1927).
16. Ср. *P. Curie*. Oeuvres. P., 1908.
17. *M. Curie*. P. Curie. P., 1924.
18. *W. Ludwig*. Das Rechts–Links Problem im Tierreich u. bei Menschen. В., 1932. *Его же*. Verhandl. d. deutsch. Zool. Gesellsch. В., 1937 (лит.).
19. *В. Вернадский*. Очерки геохимии, с. 56. М., 1934.
20. *В. Вернадский*. Основы кристаллографии, т. I. М., 1904.
21. См. *В. Вернадский*. Очерки геохимии, с. 209–210, 1934.
22. Об этом см. в 3-м выпуске «Проблем биогеохимии».
23. История этих идей недостаточно разработана, особенно работы додарвинского времени. Интересна и не выяснена роль Д. Дана (1813–1895).
24. *В. Вернадский*. Изв. Акад. наук 1926–1927. См. Биосфера. Л., 1926. *Его же*. Биогеохимические очерки. Л., 1939 (в печати).

25. Возможность этого явления была впервые указана мною в 1926 г. См. *В. Вернадский*. Изв. А. Н., 1926.
26. *I. Wilser*. Lichtreaktion in fossil. Tierwelt, В., 1931. S. 161.
27. Все кристаллические и изоморфные косные тела не отвечают обычному изотропному пространству Эвклида. См. о кристаллическом пространстве: *Б. Делонэ, Н. Падуров, А. Александров*. Геометрическое введение в кристаллографию. Л., 1933, с. 8.
28. *В. Вернадский*. Очерки геохимии. Л., 1934, с. 111, сл.
29. *В. Вернадский*. Проблема времени в современной науке. Изв. А. Н., 1932, по-французски Р., 1935–1936.
30. *В. Вернадский*. *ї в.*

АВТОРСКОЕ ПРЕДИСЛОВИЕ К «БИОГЕОХИМИЧЕСКИМ ОЧЕРКАМ»*

«Биогеохимические очерки» я посвящаю моей жене Наталье Егоровне, урожденной Старицкой, с которой мы прожили более 50 лет вместе, моей помощнице в работе, всегда неуклонно относившейся к жизни, как к делу любви к людям и к свободному исканию истины».

Сборник моих статей, посвященный биогеохимическим проблемам, дает возможно связную картину развития моих идей и моей научной разработки проблем биогеохимии с 1922 по 1932 г. С «Биогеохимическими очерками» связаны четыре книги, вышедшие отдельно, касающиеся тех же вопросов изучения жизни в химическом аспекте – как закономерной части в истории и в строении нашей планеты. Это – «Биосфера» (1926, 2-е французское, издание «La Biosphère», 1929); «Очерки геохимии» (первое, французское издание «Géochimie» в 1924, четвертое, русское, издание «Очерки геохимии» в 1934); «История природных вод» (I том, 1933–1936) и «Проблемы биогеохимии» (1-е и 2-е издания, 1935).

В совокупности эти четыре книги вместе с «Биогеохимическими очерками» дадут возможность ознакомиться с работой, которую я веду – неуклонно и непрерывно – с 1916 г., теперь более 20 лет, и которая захватила меня целиком, над которой я повседневно работаю и ни разу не оставлял, несмотря на глубочайшие изменения условий жизни, которые совершались в нашей стране с 1916 г.

* В данный том из сборника «Биогеохимические очерки» (М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. 250 с.) вошли статьи «Химический состав живого вещества в связи с химией земной коры», «Живое вещество в химии моря», «О размножении организма и его значении в строении биосферы», «Изотопы и живое вещество», «Заметка об изучении живого вещества», «О новых задачах химии жизни», «Геохимическая энергия жизни в биосфере», «Эволюция видов и живое вещество», «Общие соображения об изучении химического состава живых организмов», «О геохимических постоянных культурных растений», «Изучение явлений жизни и новая физика», «О биогеохимическом изучении явлений жизни», «О влиянии живых организмов на изотопические смеси химических элементов».

Работы, непосредственно к проблемам биогеохимии не относящиеся, будут опубликованы в последующих томах.

Издание «Биогеохимических очерков» я считаю необходимым, так как я не имею других путей дать в легко доступной форме возможность ознакомиться с проблемами этой области знания, будущее которой мне представляется очень большим и ознакомление с которой важным. Ибо разбросанные в десятке русских и иностранных журналов, написанные на разных языках работы, излагающие мою мысль и сводящие мою работу, работу моей жизни, являются трудно доступными даже лицу, знакомому с русским языком, даже в нашей стране, а затем еще меньше в широком кругу лиц, который сейчас следит за нашей научной работой на нашем языке, за ее пределами.

К тому же для меня ясно, что я – по своим годам – уже не смогу подробнее вернуться ко многим из этих вопросов и проблем, так как из огромного материала, собранного мною в течение более чем 20-летней систематической работы, выделилась одна большая проблема, которую я хотел бы закончить перед уходом из жизни и которая захватила все мои силы, – проблема биогеохимической энергии нашей планеты. Пройдет несколько лет, пока она может быть закончена.

В этом сборнике эта проблема едва затронута.

* * *

Мне кажется, хотя отдельные статьи, большей частью публичные выступления – лекции и доклады, писались независимо и ничем, кроме содержания, не связаны между собой, они не явятся для читателя повторением одного и того же. Перечитывая их для этого издания, я вижу, что в целом читатель не найдет в них много повторений. Он может читать их подряд, читать, как одну книгу, проникнутую одной определенной идеей, *идеей жизни как космической силы, изучаемой как проявление организованности биосферы, планетной оболочки, и сводимой к атомам, тесная связь с которыми ясно проявляется и в области явлений жизни и ее закономерностей.*

Статьи расположены хронологически. При быстром росте знаний в нашу эпоху отдельные места в них уже устарели и требуют оговорок. Это в одинаковой степени относится к статьям как 1922 г., так и 1932 г. Они пересмотрены здесь с этой точки зрения, сделаны нужные, возможно меньшие изменения, указанные в тексте. В примечаниях и дополнениях к статьям помещены необходимые разъяснения. Очевидно, наибольшие изменения произошли в числовых данных. Эти данные приведены к современному уровню (до 1936 г.) А.П. Виноградовым, которому я глубоко благодарен за оказанную мне помощь.

Только благодаря этому читатель имеет связанное целое, как бы *второе издание* статей.

Я поместил здесь не все напечатанное, но сделал выборку казавшегося мне наиболее важным. В нужных местах делаю указание на другие мои статьи, сюда не вошедшие, и ссылки на более новую литературу.

* * *

Я столкнулся с биогеохимическими проблемами в 1891 г., когда стал читать курс минералогии в Московском университете. Раньше моя работа была направлена главным образом к химии и кристаллографии. Вопросы, связан-

ные с строением и изменением в природе силикатов и алюмосиликатов¹ и с физическими состояниями веществ², занимали меня тогда всецело.

Но при чтении в университете минералогии я стал на путь, в то время необычный, в значительной мере в связи с моей работой и общением в студенческие и ближайшие годы (1883–1897) с крупным, замечательным русским ученым В.В. Докучаевым. Он впервые обратил мое внимание на динамическую сторону минералогии, изучение минералов во времени. Я был одним из немногих, построивших в то время преподавание минералогии не на статистическом охвате Линнея, но на динамическом представлении минералов в земной коре Бюффона. Это определило весь ход моего преподавания и изучения минералогии и отразилось на мысли и научной работе моих учеников и сотрудников. Отсюда в Московском университете создается свое своеобразное течение минералогии, приведшее к созданию *геохимии* как науки, изучающей историю атомов в земной коре, в отличие от минералогии, изучающей историю в ней молекул и кристаллов, и к *биогеохимии* – к науке, изучающей жизнь в аспекте атомов.

Неизбежно, еще в 1891 г., я столкнулся при таком подходе к минералогии с вопросами о жизни и о ее влиянии на создание минералов.

Первый вопрос, который встал передо мной, – вопрос об органогенных минералах и о понятии минерала. Я столкнулся с огромным значением живых организмов в образовании минералов, в том числе и таких, как карбонаты кальция (известняки). С другой стороны, из того, что организмы являются неразрывно связанными с минеральными процессами, с образованием минералов, возник для меня вопрос: как отнестись к тем соединениям, из которых состоят организмы, их создающие (белки, углеводы и т.д.), соединения, которые непрерывно и всюду переходят в угли, нефти, гумусы, часто совершенно незаметно переходят в несомненные минералы. Какое их положение в земной коре?

Эти вопросы глубоко интересовали меня в эти годы (1890-е), и много раз возникало их обсуждение с моими первыми сотрудниками и учениками – Е.Д. Кислаковским, А.А. Ауновским, А.О. Шкляревским, П.К. Алексатом, С.П. Поповым. Из них всех остались среди живых только я и проф. С.П. Попов.

Эти интересы отразились в моих, тогда изданных литографированных лекциях³.

Прошло время, пока я понял, что мы наблюдаем два резко разных, по своему положению в земной коре, процесса: с одной стороны, минералы, число которых не превышает немногих тысяч и которые в своем характере и в свойствах почти неизменны в ходе геологического времени и в его пределах создаются, и, с другой стороны, соединения биохимические, строящие

¹ См. В. Вернадский. О группе силлиманита и значении глинозема в силикатах. М., 1891. Его же. Минералогия. I–II. М., 1911–1912. Сейчас переиздано и доведено до современного состояния в книге: В. Вернадский, С. Курбатов. Земные силикаты и алюмосиликаты и их аналоги. Ленинград, 1937.

² Я в свое время сделал неосторожность, ничего почти не напечатав из моей большой экспериментальной работы по явлениям полиморфизма (1893–1897). См. мою речь «О полиморфизме, как общем свойстве материи». Учен. Зап. Моск. ун-та. М., 1892.

³ Некоторые из этих лекций, вероятно, сохранились.

организмы, число которых исчисляется миллиардами и которые резко и определенно меняются в ходе геологического времени, отвечают времени историческому. Но и минералы и соединения, строящие живые существа – живые вещества, имеют общий субстрат, история которого их теснейшим образом связывает. Этот общий субстрат – химические элементы, вернее атомы.

Геохимия и биогеохимия выявились, исходя из углубления в это основное положение.

Несколько раз я пытался углубиться в эти, тогда совершенно оставленные наукой в стороне, явления. Мой ученик и друг Я.В. Самойлов, с которым мы много говорили в начале XX столетия об этих проблемах, первый глубоко, самостоятельно и оригинально пошел по этому пути, точно, научно к ним подошел, как только он получил кафедру минералогии в Петровско-Разумовском. Он в этой области начал создавать школу учеников и сотрудников и выдвинул новые проблемы, конкретно поставленные и сведенные к мере и числу. Неожиданная смерть прервала работу его в самом разгаре¹. Данные им направления в этой огромной области не замрут².

В 1916 г. я решился систематически приступить к синтезу давно обдумываемых исканий и начал систематический подбор материала и письменную обработку первых основных положений – летом на берегу Пела, на Украине, на хуторе около Шишак, где я и раньше пытался набрасывать слагавшиеся у меня обобщения. С тех пор с работой этой я никогда не расставался и веду ее все время.

Собранные здесь статьи являются ее результатом, так же как упомянутые в начале авторского предисловия мои книги³.

Подходя к явлениям жизни в аспекте атомов и структуры биосферы, мы неизбежно находимся на грани научно известного. Широкие философские выводы могут быть, конечно, делаемы из научно здесь достигаемого, но их достоверность неизбежно ограничена и для научной работы в данный момент развития науки мне представляется относительно менее ценной. Ибо философская мысль еще не стала вплотную на тот новый путь, на который с конца XIX и начала XX в. стала наука. В старые мехи не вливают новое вино.

Признавая, конечно, глубочайшее значение философии в жизни человечества и посвятив несколько лет ее изучению, автор пришел в своем жизненном пути в конце концов к заключению, что в данный исторический момент философия в обсуждении научных вопросов не может иметь примата над наукой. Круг его интересов и знаний определенно лежит в научной, а не в философской области. Он склоняется к философскому скептицизму и не считает для себя возможным делать философские выводы из своей научной работы.

Но не может быть поставлена грань пылливости разума. Философская оценка всей научной работы – и биогеохимической в том числе – будет происходить. Автор думает, что она приведет к созданию новой философии, ко-

¹ См. В.И. Вернадский. Геохимия в Союзе. Сб. «Наука и техника СССР 1917–1927». Т. 1, 1927, с. 235.

² Они поставлены в план работы Биогеохимической лаборатории Академии наук.

³ См. еще: А.Е. Ферсман. Геохимия, I–II. Л., 1934; Я. Самойлов. Биолиты. Л., 1931; А. Виноградов. Геохимия живого вещества (1935), 2-е изд. подготов. L. Henderson, *Fitness of life*, 1915, 2-е изд. 1924 (русский перевод искажен); A. Lotka. *Physical Biology*, Balt., 1930. Труды Биогеохимической лаборатории, 1–5. Л.–М., 1930–1939.

торая неизбежно явится следствием происходящего, небывалого раньше в истории, научного движения. Но философ не может в данный момент указывать путь ученому с пользой для последнего; он неизбежно должен в наше время занимать второе место для научного понимания происходящего. Философия важна и ценна, но не она сейчас ведет человечество в научной области.

Узкое, июль, 1935 г.

ЛИТЕРАТУРА К «БИОГЕОХИМИЧЕСКИМ ОЧЕРКАМ»*

1. *Вернадский В.И.* Очерки геохимии. Изд. 4-е. Л., 1934.
2. *Вернадский В.И.* Химические элементы и механизм земной коры. Природа, 1922, № 3/5, с. 31–48.
3. *Вернадский В.И.* Проблемы биогеохимии. 1. Значение биогеохимии для познания биосферы. Изд. 2-е. Л., 1934.
4. *Вернадский В.И.* История минералов земной коры. Т. II. История природных вод. Ч. I. Л., 1933–1936.
5. *Виноградов А.П.* Геохимия живого вещества. Изд. Л., 1932 (второе изд. готовится).
6. *Вернадский В.И.* История минералов земной коры. Т. II: История природных вод. Ч. I, вып. 2. Л., 1934.
7. Труды Биогеохимической лаборатории. Т. I. Л., 1930.
8. То же. Т. II. Л., 1931.
9. То же. Т. III. Л.–М., 1935.
10. То же. Т. IV. Л.–М., 1936.
11. *Вернадский В.И.* Биосфера. Л., 1926.
12. *Vernadsky W.* La Biosphere. 1929.
13. *Вернадский В.И.* Геохимия в Союзе. Сборник «Наука и техника СССР 1917–1927». М., 1927.
14. *Тимофеев В.* Доклады Ак. наук. 1935.
15. *Вернадский В.И.* О некоторых очередных проблемах радиогеологии. Изв. Ак. наук, 1935, с. 1–18.
16. *Вернадский В.И.* Опыт описательной минералогии. I, вып. 1–5, СПб., 1908–1914; вып. 1–2; 1918–1922.
17. *Вернадский В.И.* К вопросу о химическом составе почв. Почвоведение. 1913. С. 1–21.
18. *Вернадский В.И.* Мысли о современном значении истории знаний. Труды Комиссии по истории знаний. I. Л., 1927.
19. *Vernadsky W.* La Géochimie. P., 1924.
20. *Vernadsky W.* L'autotrophie de l'humanité. Revue générale des sciences. P., 1925, № 17/18. P. 495–502.
21. *Вернадский В.И.* Ход жизни в биосфере. Природа, 1925. № 10/12. С. 25–38.
22. *Вернадский В.И.* О новых задачах в химии жизни. Труды Бальнеологического института на Кавказских минеральных водах, Вып. 5. 1927. С. 3–16.
23. *Вернадский В.И.* Об условиях появления жизни на земле. Изв. Ак. наук. Сер. 7. 1931, с. 633–653.
24. *Вернадский В.И.* О применении закона Ле Шателье-Джиббса к явлениям кристаллизации. Дневник XII съезда русских естествоиспытателей и врачей. М., 1910, № 10, с. 484.
25. *Ферсман А.Е.* Геохимия. I. Изд. 2-е. Л., 1934.
26. *Ферсман А.Е.* Геохимия. II. Л., 1934.
27. *Вернадский В.И.* Очерки и речи. II. 1922.
28. *F. d' Herelle.* La bactériophage et son comportement. 2-me éd. entièrement refondue, P. (Massom et C-ie), 1916.
29. *Bordet I.* Annales de l'Institut Pasteur, 39, P. 1926, p. 717.
30. *Bronfenbrenner J.* Science, 63, 1016, p. 62.

* Опубликовано в: Биогеохим. очерки. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 239–241.

31. *Guvier G.* Rapport histor sur le progrès de science. P., 1808; P. 1827.
32. *Vernadsky W.* Les problèmes de la radiogéologie. P., 1935.
33. *Вернадский В.И.* О некоторых очередных проблемах радиогеологии. Изв. Ак. наук СССР, 1935, № 1, с. 1–18.
34. *Lotka A.J.* Elements of physical biology. Baltim. 1925.
35. *Whitehead.* Science and moderne world, 1926.
36. *Haldane E.* Deadalus L., 1926.
37. *Вернадский В.И.* Записка (о необходимости организации химического изучения организмов). Протоколи зас. Фізично-матем. Відділу Всеукр. Акад. Київ, 1918, вып. 1, с. 43–45.
38. *Вернадский В.И.* Записка об изучении живого вещества с геохимической точки зрения. Приложение к протоколу VIII заседания. Отдел физ.-мат. наук. Ак. наук. 11 мая, 1921, с. 120–123.
39. *Vernadsky W.* Sur le nickel et le cobalte dans la biosphère. C. R. Ac. Sc. P. 175, 1922, p. 382–385.
40. *Vernadsky W.* A plea for the establishment of a Biogeochemical Laboratory, Trans, the Marin. biol. stat. of port Frinc, 1923. p. 38–48. Liverpool.
41. *Вернадский В.И.* Определение геохимической энергии некоторых групп насекомых. Наставление для определения геохимических постоянных. Л., 1926.
42. *Ssadiikov W.S.* u. *A.P. Vinogradow.* Untersuchungen über die Zusammensetzung des lebendigen Substrats. I–II. Biochem. Ztschr. 150, 1924. S. 372–376 u. 377–391.
43. *Садиков Н.Д.* К методике химического анализа животных организмов. Изв. Ак. наук СССР, 1926, с. 649–654.
44. *Зелинский Н.Д.* Изв. Ак. наук СССР, 1923.
45. *Vernadsky W.* Sur la dispersion des éléments chimiques. Revue générale des Sciences. P., 1927. N 12, p. 366–372.
46. *Brunowsky B.* Studien über die Konzentration des Radiums durch Lebenwesen. Труды Биогеохимич. лаборатории, II, 1932, с. 9–25.
47. *Виноградов А.П.* Химический элементарный состав организмов моря. Тр. Биогеохим. лаб., III, 1935; IV, 1936.
48. *Будрик В.М.* Материалы по изучению Тамбуканского озера. Вып. I и II. Пятигорск, 1926.
49. *Хэдсон У.Г.* Натуралист в Лаплате. СПб., 1896, с. 169.
50. *Бэтс Д.* На Амазонской реке. СПб., 1865, с. 30.
51. *Уоллес А.* Transactions of Linnaean Society. L., 1858.
52. *Виноградов А.П.* см. *W. Vernadsky.* Ozeanographie u. Géochemie. Miner., Petrogr. Mitteilungen. 1933, 44, 168.
53. *Лебедевцев А.Н.* Определение геохимических постоянных для некоторых сельскохозяйственных растений северной половины центральной части черноземной полосы. Труды Биогеохимической лаборатории, I, 1930, с. 49–59.
54. *Gilbert D.* Die Naturwissenschaften. Berl., 18m 1939, S. 959.
55. *Вернадский В.И.* Проблема времени в современной науке. Изв. Ак. наук СССР, сер. 7, 1932, с. 511–541.
56. *Pasteur L.* Oeuvres. I. P. 1883, p. 395.
57. *Pasteur L.* Oeuvres. I. P. 1860, p. 341.
58. *Pasteur L.* Oeuvres. I. P. 1874, p. 361.
59. *Pasteur L.* Oeuvres. III. P. 1992, p. 622 (1858).
60. *Lacroix.* Figures de savants. I–II. 1932.
61. *Ludwig. W.* Rechts links Problem im Tierreich. J. 1932.
62. *Вернадский В.И.* Начало в вечность жизни. II. 1922.
63. *Arrhenius S.* Ztschr. f. physik. Chemie. 130, S. 516, 1927.
64. *Вернадский В.И.* Les isotopes et les organismes vivants. C.R. Ac. Sc. P. 192, 1931, p. 131–133.
65. *Вернадский В.И.* О влиянии живых организмов на изотопические смеси химических элементов. Доклады Ак. наук, сер. А, 1931, с. 137–140.
66. *Schwinner R.* Mitteil. d. geolog. Gesellsch. Wien. 1928, XIX, S. 140.
67. *Vernadsky W.* La composition chimique de la matiere vivante et la chimie de l'écorce terrestre. Revue générale des Sciences, P. 1923, N 2, p. 42–51.

68. *Самойлов Я.В.* Биолиты, Л., 1929.
69. *Walther J. Leopoldina.* Berichte d. Ksr. Leopold. Dtsch. Acad. d. Naturforsch. z. Halle, V. 1929. S. 34.
70. *Вернадский В.И.* Пластовые воды биосферы и стратосферы. Социалистич. реконструкция и наука, 1932, вып. 2, с. 52–70.
71. *Jeans J.* Astronomy a. Cosmogony. С. 1928, p. 398.
72. *Hahn O.* Die Naturwissenschaften, 1930.
73. *Hevesy G.* v. Science, 72, 1930, N 4, p. 154.
74. *Darwin G.* Tides. L. 1898. Есть русский перевод.
75. *Кольцов Н.К.* Природа, Л., 1930.
76. *Rinne F.* Grenzfragen des Lebens. L., 1931.
77. *Лукашевич И.Д.* Что такое жизнь? Биологический этюд. СПб., 1909.
78. *Вернадский В.И.* Химический состав живого вещества в связи химией земной коры. П., 1922.
79. *Vernadsky W.* L'étude de la vie et la nouvelle physique. Revue générale des sciences, P. 1930. N 24, p. 695–712.
80. *Vernadsky W.* Isotopes and living matter. Correspondence. Chem. News, 142, 1931. p. 35–36.
81. *Paneth F.* Radioelements as indicators. L. 1928, p. 145–146.
82. *Rossi P.* Rendiconti dela Accad. dei Lincei, ser. 5. R. 1910.
83. *Amhard L.* et *A. Chretien*, Bull. d. 1. Soc. de Chimie biolog., P. 8. 1926. p. 1104.
84. *Curie M.* Les isotopes, P. 1924.
85. *Loring F.* a. *J. Druce.* Chem. News, 1930, 140, p. 33–39.
86. *Druce J.* Chem. News, L. 1931, 142.
87. *Lowry H.* Journ. Amer. Chem. Soc., 1930, 52, p. 1332.
88. *Zwaardemaker H.* Onder Zoekingen Gedaan in het physiologisch laboratorium der rijksuniversiteit te Utrecht. 1927.
89. *Kochman M.* u. *H. Seel.* Biochem. Ztschr. 1928, 198, S. 378.
90. *Majorana Q.* Rendiconti delle sezioni d. Acad. Di Bologna, Classe fis., 30, 1922.
91. *Hoffman G.* Schriften d. Konigsb. gel. Ges. 4, Nat. Kl. 1927, N 1.
92. *Baxter G.* u. *A. Bliss.* Journ. Amer. Chem. Soc. 52, 1930, p. 4848.
93. *Nordenskiöld A. C. R.* Ac. Sc. P. 120, 1895, p. 895.
94. *Вернадский В.И.* О необходимости исследования радиоактивных минералов Российской империи. Труды Радиевой экспедиции. Ак. наук, 1914, вып. 1, с. 36.
95. *Bishop W.* Medical Journ. of Australia, S. 1928, I, p. 480.
96. *Vernadsky W.* Mesothoriumhaltige natürliche Gewässer. Ztschr. f. Electrochem. 1932, S. 527–529.
97. *Вернадский В.И.* Живое вещество в химии моря. П. 1923.
98. *Виноградов А.П.* Химический элементарный состав морских организмов в связи с вопросами их систематики и морфологии. Природа, 1931, № 6, с. 229–254.
99. *Schönbein J.* Annalen d. Physik, 45, 1838, S. 277.
100. *Erdmandörfer J.* Mineralogie einst und jetzt. Heid. 1931, S. 11.
101. *Schönbein J.* Mitteilungen aus d. Reisebuch eines deutschen Naturforschers. Bas. 1842, S. 99.
102. *Kaiser E.* Ztschr. Dtsh. Geol. Ges. B. 1931, S. 392.
103. *Eisler R.* Wörterb d. philos. Berg. III. B. 1930, S. 646.
104. *Mac Taggart.* Mind. 18. 1909, L.
105. *Вернадский В.И.* О классификации природных газов. Сборник «Природные газы», 2, Л., 1931, с. 15.
106. *Вернадский В.И.* Об областях охлаждения в земной коре. Записки Гос. гидрологич. института. Сборник, посвященный 25-летию научн. деятельности В.Г. Глушкова, 1933, с. 5–16.
107. *Correns W.* N. Jb. f. Min (A.) Beil.–Bd. 57, 1927, S. 1109.
108. *Murray J.* a. *Irving R.* Proceed. of the Royal society of Edinburg, 18, E. 1891, S. 1227.
109. *Henderson L.* Die Umwelt d. Lebens. 1914, S. 67.
110. *Вернадский В.И.* Заметка о распространении химических элементов в земной коре. Изв. Ак. наук, 1914, с. 951–966.
111. *Бурксер E.* Biochem. Ztschr. 233, 1931, S. 58.

112. Mache H. Anzeiger d. Akademie d. Wissenschaften in Wien, 51, 1914, S. 345.
113. Вернадский В.И. Торий и мезоторий в морской воде. Природа, 1932, № 5, С. 414–426.
114. Вернадский В.И. и Виноградов А.П. О химическом элементарном составе рясок (Lemna), как видовом признаке. Доклады Ак. наук, сер. А, 1931, с. 148–152.
115. Curie M. Pierre Curie. P., 1924.
116. Curie P. Oeuvres. P., 1908.

К ПРОБЛЕМЕ РАЗЛОЖЕНИЯ КАОЛИНА ОРГАНИЗМАМИ*

Наблюдая большое развитие диатомовых в океанах, Д. Мёррей установил, что в воде моря не содержится необходимого количества кремния для жизни этих водорослей. Он высказал предположение, что диатомовые обладают специальными свойствами разлагать глинистые частицы, которые находятся в морской воде в достаточном количестве, как он убедился, чтобы использовать таким образом освобожденный кремний.

Опыты, которые он производил с Р. Ирвином¹, обнаружили, что диатомовые (*Navicula* sp.) могут успешно развиваться в воде, не содержащей кремния, но при условии, что эта вода содержит частицы глины.

Эти опыты привлекли внимание геологов и океанографов, но только не биологов. Между тем это свойство диатомовых наводит на мысль о способности живых организмов, совершенно неизвестной до сих пор, которая не только играет очень важную роль в химии моря, о которой говорит Д. Мёррей, но также в химии земной коры и вообще выдвигает глубокие биологические проблемы. Разложение глины с освобождением кремния действительно является химической реакцией, требующей большого количества энергии.

Все глины, как каолин, галлуазит, пирофиллит, монтмориллонит и др., содержат ядро $H_2Al_2Si_2O_8$, которое химически очень устойчиво в биосфере.

Оно не разлагается под действием химических агентов, преобладающих на земной поверхности: воды, кислорода и углекислоты.

Все минералы, которые содержат это ядро $H_2Al_2Si_2O_8$, (полевые шпаты, лейцит, слюды, цеолиты, эпидоты, нефелин, гранаты и т.д.), превращаются под их действием в каолин $H_2Al_2Si_2O_8 \cdot H_2O$.

Это ядро сохраняется при многих наших синтезах и химических опытах, затрагивающих эти минералы.

Ядро $H_2Al_2Si_2O_8$, разлагается с выделением свободных алюминатов, алюминия, кремния только при высокой температуре (по опытам профессора С. Вейберга, только лишь выше 1000°) или под действием сильных кислот (например, H_2SO_4) и при температуре выше 100°.

Таким образом, Д. Мёррей и Р. Ирвин нашли впервые в этих диатомовых агента, способного произвести такое разложение в биосфере при температуре очень низкой. Здесь существует аналогия с разложением CO_2 организмами, имеющими хлорофилл.

* Опубликовано в: Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. С. 118–119.

¹ Murray J., Irvin R. // Proc. roy. soc. Edin. 18. 1891. 245.

Изучая черноземы Тамбовской губернии, Моршанского уезда, я имел возможность изучать в прежнее время своеобразные процессы разложения глины почв с характерным образованием гидратов алюминия. Это разложение связано с рельефом почвы, оно происходит в больших низких впадинах под действием стоячих вод весной, после сильных дождей.

Эти воды содержат большое количество диатомовых (изученных А.Б. Миссуной) и бактерий, которые обычно сопровождают диатомовых в природе и образуют с ними, может быть, симбиоз¹. Разложение каолинового ядра глин (или произвольных алюмосиликатов, таких, как полевые шпаты и др.) различных почв можно поставить в зависимость с развитием диатомовых или бактерий. Мы имеем для бактерий примеры разложения алюмосиликатов с образованием глин.

Можно думать, что при некоторых неизученных условиях действием некоторых из них может быть вызвано разложение каолинового ядра.

Некоторые авторы уже высказали предположение, что образование почв латеритов тропических и субтропических районов характеризуется освобождением гидратов алюминия, произведенным действием микроорганизмов на каолин. Я производил в 1918 г. в Киеве, с помощью профессора Н.Г. Холодного, на средства Академии наук Украины, опыты для изучения этой проблемы.

К несчастью, вся эта работа, предпринятая с участием моих ассистентов В. Наумовича (убит в 1918 г.) и А. Оглоблина, не могла быть окончена из-за событий того времени.

Нам служила для наших опытов коллоидная криптокристаллическая глина г. Подольска, анализ которой дал формулу чистого каолина $H_2Al_2Si_2O_8 \cdot H_2O$. Целью опыта было определить образование свободных гидратов алюминия под действием диатомовых, высеянных на глине, не содержащей их.

А. Оглоблину удалось получить культуру, содержащую *Nitzschia* sp. (выделенную из почвы в окрестностях Киева), в сопровождении большого количества бактерий, не определенных, но принадлежащих, без сомнения, к одному и тому же роду. Других организмов в этой культуре не было.

Диатомовые развивались очень хорошо на этой глине в питательной среде, лишенной кремния, в стеклянном сосуде, изолированном от жидкости слоем парафина.

В контрольном опыте та же глина была погружена в ту же питательную среду, стерилизованную паром; сосуды находились в идентичных условиях.

После моего отъезда из Киева, а также и А. Оглоблина, два образца глин были химически исследованы М.И. Бессмертной, обнаружившей, что глина, в которой она наблюдала богатую флору диатомовых, содержала свободные гидраты алюминия, в то время как та же глина в контрольном опыте, лишенная диатомовых, не содержала их. Имея данные, что культуры диатомовых содержали бактерии (которые были, вероятно, и в случае опытов Д. Мёррея и Р. Ирвина), необходимо изучить в будущих опытах, вызывается ли химическое действие бактериями, или диатомовыми, или их симбиозом.

¹ Образование свободного гидрата алюминия в почвах наших широт было констатировано давно, в первой половине XIX в., К. Шпренгелем.

Значение в природе этого биохимического разложения каолиновых структур, образование которых зависит, вероятно, в широкой мере от живого вещества, очень большое, и совершенно необходимо внести ясность в этот вопрос.

Я бы хотел, чтобы биологи остановили свое внимание на этой проблеме.

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ХИМИЧЕСКОМ СОСТАВЕ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА*

Химические анализы не дают нам непосредственно реального состава естественных тел; для его получения необходимы расчеты.

По привычке, связанной со столетней давности химическими представлениями, данные анализов выражаются главным образом в процентах окисей (в весе).

Это дает достаточно точное представление о составе земных горных пород, вулканических и метаморфических, и большого количества кислородных минералов. Сюда вносятся тем не менее коррективы в случае присутствия несколько ощутимых количеств галоидов (Сl и Р).

Однако у *осадочных горных пород*, богатых органическими веществами, подобные представления дают нам довольно ложную картину их реального химического состава. У *почв, подпочв и грязей водных бассейнов* оно еще больше недостаточно и реально сдерживает прогресс химии этих важных частей биосферы.

Существуют, однако, и другие способы представления данных анализов. Что касается *естественных вод*, – после многочисленных нащупываний – пришли к изображениям в процентах ионов (по весу). Сюда вносятся коррективы для тел, которые находятся в коллоидальных псевдорастворах (например, кремнезема). Достоверно, что только лишь таким образом достигается понимание естественных гидрохимических явлений.

Давно изображают состав *метеоритов* и *некислородных минералов* в процентном отношении химических элементов (по весу). Такое изображение стало распространенным в геохимии горных пород различных частей земного шара.

В 1902 г. В. Акройд¹ указал на преимущества для некоторых задач выражать химический состав *земного шара* в процентном отношении атомов различных химических элементов. А. Ферсман² в 1912 г. опубликовал новый расчет в соответствии с этим принципом химического состава земной коры и доказал его геохимический интерес. Начиная с недавних успехов физики атомов, этот способ изображения состава естественных тел становится все более распространенным в геохимии³.

* Статья опубликована на французском языке в 1924 г. в: С.г. Acad. sci. Vol. 179. P. 1215–1217. Перевод Е.В. Соловьевой. На русском языке публикуется впервые.

¹ *Ackroyd W.Af.* // Chem. News. 1902. Т. 86. P. 188.

² *Ферсман А.* Бюл. АН, СПб., 1912. С. 367.

³ *Astron R.* Developpements nouveaux pour le globe terrestre // Nature. 1924. Т. 113. P. 393.

Представляют химический состав *живой природы и живых организмов*¹ двумя различными способами. Главным образом, указываются процентные соотношения потери при 100–125 °С (их расценивают как соответствующие воде) окисей шлаков, пренебрегая часто указанием на отношение последних к весу живого организма. Иногда еще указываются процентные соотношения в соответствии с сухим веществом, элементами органической части – Н, N, S и иногда Р.

Реже указывают процентные содержания химических элементов по весу по отношению к живому организму. Именно только этот последний способ может нам дать верные представления о составе живого вещества.

К сожалению, химические анализы, выполненные с этой точки зрения, являются очень редкими².

Однако можно представить химический состав живого вещества и живых организмов различными способами³, из которых два, как кажется, имеют значение в настоящее время⁴. Его можно представить либо в процентах химических элементов (по весу), которые существуют в живом организме, либо в процентах их атомов в этом организме⁵.

Наши знания об изотопах в организмах незначительны.

Приведем в качестве примера расчеты, которые относятся к двум резко различным случаям живого вещества: состав взрослого человека⁶ и состав злакового (зерна *Lolium emulentum*)⁷:

<i>Взрослый человек</i> ⁸			
	на 100% (по весу)		на 100% (в атомах)
О	65,04 (62,81)	Н	62,99 (60,796)
С	18,25 (19,37)	О	25,478 (25,635)
Н	10,05 (9,31)	С	9,532 (10,536)
N	3,15 (5,14)	N	1,409 (2,397)
Ca	1,40 (1,38)	Ca	0,224 (0,225)
P	0,80 (0,63)	P	0,161 (0,132)
К	0,27 (0,22)	Na	0,070 (0,073)
Na	0,26 (0,26)	Cl	0,043 (0,029)

¹ Вернадский В. // Геохимия. 1924. Alcan. С. 54 (на фр. языке – *Ред.*).

² Vernadsky W. La composition chimique de la matière vivante et de la chimie de l'écorce terrestre // Rev. gen. sci. 1923. Vol. 34, N 2. P. 46.

³ Его можно представить еще в процентах от количества электронов, химических элементов вообще или в отношениях к существующим валентностям в живом веществе.

⁴ Ср. В. Садилов и С. Виноградов в цит. выше работе. 1924. С. 390–391.

⁵ Для получения их количества не принимают во внимание изотопы, рассматривается лишь атомный вес элементов земной коры; мы не можем действовать иначе, так как наши знания об изотопах в живых организмах ничтожны.

⁶ Volkmann A. // Bderichte d. Sachs. Ges. d. Wiss. Math. Phys. ch. T. 26. 1874. P. 202; Bouchard C. // Comptes rendus. 1897. T. 124. P. 844; Bertrand G. // Bul. de la Societé scientifique d'Hygiene alimentaire. 1920. T. 8. P. 49; Vernadsky W. // Rev. gen. sci. 1923. T. 34. P. 46.

⁷ Ramdohr // Archiv. f. Pharm. 1856. T. 136. P. 20. Этот старинный анализ является одним из редких полных анализов. Числа у серы и азота представляются слишком низкими.

⁸ Числа в скобках – это числа Г. Бертрана.

Взрослый человек⁸

	на 100% (по весу)		на 100% (в атомах)
Cl	0,25 (0,18)	K	0,042 (0,037)
S	0,21 (0,64)	S	0,039 (0,128)
Mg	0,04 (0,04)	Mg	0,010 (0,010)
Fe	0,02 (0,005)	Fe	0,002 (0,001)
Hg	0,02 (0,007)	Hg	0,002 (0,001)
	99,74 (99,992)		100,00 (100,00)
	0,26 – другие элементы		

Зерна злака *Lolium emulentum*

	на 100% (по весу)		на 100% (в атомах)
O	50,68	H	48,05
C	38,93	C	22,10
H	7,05	O	21,59
N	1,10	N	5,34
K	0,55	K	0,95
Si	0,32	Si	0,77
P	0,20	P	0,44
Mg	0,13	Mg	0,36
Ca	0,10	Na	0,17
Na	0,058	Ca	0,17
Fe ¹	0,025	Fe ¹	0,03
Cl	0,003	Cl	0,06
S	0,002	S	0,04

Эти примеры ясно указывают, что значение одного и того же химического элемента проявляется по-разному в соответствии с тем способом, каким представляют химический анализ.

В земной истории химических элементов – в геохимии – нужно всегда принимать во внимание, как начинают это делать, не только их массу, но также и количество их атомов.

Вероятно, такая же точка зрения должна иметь такое же значение и в биологии.

О БИОЛОГИЧЕСКОМ ЗНАЧЕНИИ НЕКОТОРЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЙ ЖИЗНИ*

1. Новые теории, относящиеся к структуре атомов и строению атомных решеток твердых тел, подтвержденные множеством опытных фактов и эмпирическими обобщениями в геохимии, должны, как мне кажется, коренным образом сказаться на нашей концепции жизни.

¹ Включая ничтожные количества алюминия.

* Опубликовано в: Природа. 1988. № 3. С. 34–38.

И если в настоящее время биологи почти не придают этому значения, то такое состояние умов не может удерживаться долго. В этой короткой заметке я остановлюсь только на одной из многочисленных проблем, которые возникают в биологии вследствие прогресса геологических и физических наук.

2. Всегда ли атомы химических элементов живого вещества¹ идентичны тем, которые обнаруживаются в явлениях косной материи? Нет ли у живого вещества средств выбирать изотопы химических элементов из их смесей в окружающей среде, с которой оно неразрывно² связано?

До настоящего времени мы не располагали необходимыми эмпирическими данными для возможных ответов на эти вопросы. К тому же они могут быть решены только в условиях организованной работы, в условиях, которые превосходят возможности отдельного исследователя и требуют больших средств³.

Новые факты, установленные недавно в исследованиях, совершенно, казалось бы, чуждых биологическим проблемам, заставляют думать, что *жизнь может воздействовать на симметрию атомов*. Иначе говоря, атомы, которые входят в состав живого вещества, могут представлять свойства и изотопические комбинации, отличные от тех, которые строят косную материю.

3. В 1924 г. почти одновременно и независимо в трех странах – Германии⁴, Англии⁵ и Франции⁶ – удалось определить строение кристаллической решетки графита. Все исследователи пришли к одним и тем же выводам и к почти одинаковым численным результатам. Таким образом, представление об этой решетке не вызывает больше никакого сомнения.

На основании этого факта давно известная теоретическая концепция различия по «форме» углеродных атомов в алмазе и графите получила мощное эмпирическое подтверждение. Такой вывод был незамедлительно сделан У. Бреггом⁷ и Дж. Берналом.

В исследованиях подобного рода лучше говорить не о полиэдрической форме атомов, но об их *симметрии*. Это понятие – значительно более общее – вполне охватывает все следствия, которые мы можем вывести из наблюдаемых фактов. И в то же время оно совершенно не зависит от моделей, при помощи которых мы представляем материю и окружающую среду в целом.

¹ Vernadsky W. La géochimie. P., 1924. P. 54 [См. Вернадский В.И. Очерки геохимии. М.: Наука, 1983. С. 58. – *Ред.*].

² Vernadsky W. Loc. cit. P. 44 [Там же. С. 52. – *Ред.*].

³ Такая задача может быть поставлена только перед большими лабораториями, которыми человечество сейчас не располагает. Наше общественное устройство не способствует прогрессу науки в широких масштабах. В 1924 г. я предложил эту проблему как первоочередную одной из таких крупных организаций – Институту Рокфеллера в Рочестере.

⁴ Hassel O., Mark H. // Z. Phys. 1924. Bd. XXV. S. 317.

⁵ Barnal J. // Proc. Roy. Soc. A. 1924. Vol. CVI. P. 749: [Джон Бернал (1901–1971) – английский кристаллограф, биолог, химик, выполнивший фундаментальные исследования кристаллических структур (прежде всего графита) и строения органических соединений. Весьма плодотворно занимался также проблемами биологической химии и происхождения жизни. – *Ред.*].

⁶ Mauguin M.Ch. Communication a la Société Française de Mineralogie. P., 1924.

⁷ Bragg W. // Nature. 1924. Vol. CXIV. P. 863. [Уильям Брэгг (1862–1942) – английский физик, кристаллограф, один из пионеров рентгеноструктурного исследования кристаллов (Нобелевская премия 1915 г.). Расшифровал структуры многих неорганических и органических соединений. – *Ред.*].

4. Таким образом, в атомах углерода не только возможно, но и необходимо различать атомы с двумя разными симметриями. С одной стороны, это *атомы углерода в алмазе* с 4 идентичными валентностями; эти последние соответствуют в пространстве векторам, которые охватывают атомы с минимально возможными промежутками в решетке алмаза. Атомы в алмазе имеют симметрию тетраэдра, и векторы к наиболее близким атомам лежат на пространственных плоскостях только в *двух* направлениях.

С другой стороны, для *атомов углерода в графите* характерна единственная ось симметрии третьего или шестого порядка; наиболее близкие атомы располагаются в плоскостях пространства по трем векторам.

Минимальные расстояния между этими атомами близки по значению, но различны: для атомов алмаза $1,54 \cdot 10^{-8}$ см и для атомов графита $1,45 \cdot 10^{-8}$ см.

5. Эти два порядка расположения атомов существуют не только в структуре свободного углерода, но и в его соединениях.

«Алмазные» атомы (*atomes diamantins*) соответствуют углероду в алифатических соединениях, «графитные» атомы (*atomes grafitiques*) – углероду в ароматических соединениях. Конечно, подобное представление очень упрощенное; естественное явление значительно сложнее. Этот вывод можно с большой достоверностью сделать для такого факта, например, что разделение органических соединений на два больших класса – соединения ароматические и соединения алифатические – не может быть применено с такой же уверенностью ко всей совокупности известных соединений: существуют вещества со смешанным строением и с углеродными кольцами, которые, вероятно, показывают новую структуру их атомов, другую симметрию. Находят даже признаки существования атомов углерода с иной валентностью, чем в алифатических и ароматических соединениях.

Но реальное или возможное существование этих веществ с атомом углерода другой симметрии вовсе не нарушает точность наших выводов: алифатические и ароматические вещества существуют, свойства их хорошо известны, и именно эти вещества наиболее распространены в продуктах живой и косной материи в земной коре.

6. В 1912 г. У. Брэгг воспользовался дедуктивными выводами химиков, которые появились за несколько десятилетий¹ до великого открытия рентгенограмм кристаллов, совершенного М. фон Лауэ, П. фон Гротом, П. Книппингом и В. Фридрихом в 1912 г. Он пытался найти соединения графитных атомов (т.е. свойства графита) в кристаллах ароматических соединений. Во всех исследованных случаях эти выводы блестяще подтвердились. В последующих работах появились новые доказательства, подтверждающие эти представления².

Конечно, в строении кристаллических решеток этих соединений, принадлежащих к кристаллическим двухосным системам, еще много неясного, и исследование их с помощью рентгеновских лучей представляет трудности, не решенные до сих пор.

¹ Суждения химиков по этой проблеме, выдвинутые до 1912 г., сегодня весьма интересны с исторической точки зрения. См., например, статью Войнич-Сяножеского в «Известиях Киевского политехнического института» за 1910 г.

² *Bragg W. // Proc. Roy. Soc. A. 1921. Vol. XXXIV. P. 33; Nature. 1924. Vol. CXIV. P. 863.*

Однако большая логическая ценность этого вывода, взятого в качестве исходного, доказывается самой возможностью провести успешное изучение двухосных кристаллов этих сложных веществ. Опыты У. Брэгга надежно доказывают, что в изученных ароматических соединениях есть атомы углерода той же симметрии, что и в графитных атомах.

7. В то же время понятия химиков относительно структуры алифатических веществ вполне соответствуют симметрии алмазных атомов.

Углерод с тетраэдрической валентностью (как его понимают химики) есть алмазный углерод.

Совокупность эмпирических фактов, которыми располагает стереохимия, находится в замечательном согласии с симметрией этих атомов.

8. Эти вновь обретенные знания, естественно, нашли свое отражение в области геохимии.

При каких условиях появляются в земной коре алмазные атомы и графитные атомы? Изучение этого вопроса открывает любопытный факт. Оказывается, соединения с алмазными атомами образуются только в двух совершенно различных областях¹:

1) в термодинамических полях коры с огромным давлением и относительно высокой температурой;

2) в живом веществе биосферы.

9. Минералов, которые отвечали бы по структуре алмазным атомам, немало; с этой точки зрения наиболее изучен алмаз.

Он не принадлежит непременно к термодинамическому полю углерода с обычным давлением: устойчив в этом поле именно графит. Алмаз образуется в коре в месторождениях различного происхождения, всегда связанных с магмой, но не обязательно с очень высокой температурой. Все, однако, указывает на то, что его происхождение всегда связано с громадным давлением.

Очевидно, что он выделяется в глубоких основных магмах, на глубине 20–30 км, что соответствует давлению 6000–9000 кг/см². Температура при этом, по-видимому, не превышает 1000–1200 °C².

Менее ясен генезис алмаза в связи с пегматитовыми фациями гранитных пород. Температура его образования в этих условиях не может превышать 570 °C и, несомненно, должна быть на несколько сот градусов ниже. Это, однако, пневматолитические реакции, всегда связанные с большими давлениями.

В этих условиях графитные атомы углерода должны снова приобретать симметрию алмазных атомов, устойчивых в термодинамических полях.

10. В число соединений алмазных атомов из этих областей земной коры входят также угольная кислота и ее производные, метан, формальдегид.

Без связи с живым веществом все эти соединения образуются только в глубоких слоях земной коры, в ходе газовых реакций, связанных с высокой температурой и большим давлением³.

¹ Всегда следует иметь в виду, что это чисто эмпирическое обобщение и что в наших знаниях о геохимии и минералогии углерода есть пробелы. См.: *Vernadsky W.* Loc. cit. P. 223.

² См.: *Tammann G.* // *Z. anorgan. Chem.* 1921. Bd. CXV. S. 155; *Dupark L. Kovaleff P.* // *Compt. rend. Soc. phys. de Geneve.* 1924. T. XVI. P. 108.

³ *Vernadsky W.* Loc. cit. P. 225, 231. [См.: Вернадский В.И. Очерки геохимии. М.: Наука, 1983. С. 178, 182. – *Ред.*]

Они же образуются в живом веществе при низкой температуре и низком давлении, обычных в биосфере, или при метаморфизме продуктов жизни в более глубоких земных оболочках.

11. Обычно все остальные углеродные соединения – минералы – образуются в земной коре только в генетической прямой или косвенной связи с жизнью, живым веществом. Они всегда являются производными продуктами биохимических процессов или продуктами их изменения.

Все эти углеродные вещества рано или поздно трансформируются в земной коре в графит или угольную кислоту и ее производные.

Но, кажется, только графит – находящийся в дисперсном состоянии (аморфный углерод) или расположенный в кристаллической решетке – будет иметь самую устойчивую форму проявлений углерода не только в биосфере, но и в верхней оболочке земной коры в целом. *В этих оболочках термодинамическое поле косной материи является полем стабильности для графитных атомов.*

Если бы живое вещество не существовало и не вступало непрестанно в циклические равновесия, характерные для химии земной коры, то графитные атомы были бы единственно существующими, так как угольная кислота образуется только благодаря существованию свободного кислорода, который формируется только в биосфере и всегда является прямым продуктом процесса жизни¹.

12. Совсем по-другому выглядит история атомов углерода в живом веществе биосферы.

В нем образуются и трансформируются бесчисленные углеродные соединения. Алмазные атомы в живом веществе устойчивы; если в них беспрепятственно восстанавливается симметрия графитных атомов, то и обратный процесс не менее обычен, поэтому алмазные атомы всегда преобладают.

Таким образом, свойства нашего термодинамического поля различаются в живом веществе и в косной материи.

Атомы алмаза, которые не образуются в этом поле косной материи, находят условия, пригодные для существования, в таком же поле живого вещества.

13. Причину этого явления следует искать только в воздействии живой материи.

Нам давно известно, что живое вещество обладает мощными средствами для полного изменения термодинамического поля биосферы в отношении происходящих в ней химических реакций.

Используя лучистую энергию Солнца посредством механизма, суть которого нам до сих пор непонятна², именно живое вещество при обычных температурах и давлении производит химические изменения, которые в наших лабораториях или в областях нашей планеты, лишенной жизни, достигаются только при огромных давлениях и повышенных температурах.

14. Устойчивость и генезис алмазных атомов углерода в живом веществе возобновляются в известной последовательности бесчисленных биохимических процессов, которые на каждом шагу происходят в организме.

¹ Vernadsky W. Loc. cit.. P. 48, 329.

² Все указывает на то, что здесь не новая форма энергии. В то же время живое вещество в самых различных своих проявлениях – например, мыслительной деятельности, воли, разума человечества – резко изменяет течение природных энергетических явлений.

Это – неизвестное ранее выражение великого феномена истории биосферы.

Вся ее химия изменилась под действием свойства живой материи при низких температуре и давлении расщеплять полностью молекулы воды, угольной кислоты и алюмосиликатов с каолиновым ядром¹. Вне живой материи эти вещества расщепляются только в слоях земной коры с повышенными температурой и давлением.

Воздействие живого вещества на симметрию атомов углерода указывает, что его геохимическое влияние еще более обширно, чем мы могли думать.

15. Ибо это неизвестное ранее проявление жизни является еще более глубоким, совсем нового порядка.

Это воздействие обнаруживается не в молекулярной области окружающей среды, а на атомном уровне².

Влияние жизни на симметрию атомов приводит к тому, что живое вещество меняет все свойства материи; оно само себе готовит совершенно особую «космическую среду» (принимая этот термин в том смысле, который придал ему К. Бернар³).

16. До каких пределов простирается это воздействие? Проявляется ли оно исключительно для атомов углерода?

Маловероятно, чтобы это было так.

По аналогии (которая кажется в данном случае очень основательной) с биохимическими явлениями следует ожидать, что в них нашли свое выражение более общие закономерности.

Отсюда логически можно заключить, что воздействие жизни на симметрию атомов может простираться и на другие биогенные химические элементы.

В таком случае это будет главным фактором проявления жизни.

17. Из этого следует, что проблема воздействия жизни на изотопы и их смеси в косной материи превращается в первоочередную для разрешения.

Следует учесть, что алмазные атомы и графитные атомы не являются изотопами углерода. Но они принадлежат к явлениям того же порядка.

В настоящее время можно различить по меньшей мере три модификации атомов одного и того же химического элемента: 1) изотопы, которые имеют одинаковый атомный номер, но различаются по симметрии и атомному весу; 2) изомеры, которые имеют один и тот же атомный вес, но раз-

¹ Vernadsky W. Loc. cit. P. 203. [См.: Вернадский В.И. Очерки геохимии. С. 166. – *Ред.*]

² Тем не менее становится все более очевидным, что в крупном обобщении Пастера о влиянии организмов на образование асимметричных химических структур следует видеть явление того же порядка. Речь здесь идет о симметрии поля электронов и атомов, а не о молекулярных явлениях. См.: Jagger F. Lectures on the Principle, of Symmetry. L., 1920; *Idem* // Bull. Soc. chim. France. 1923. Т. 33. P. 887. [Вернадский говорит об открытии Л. Пастером (1822–1895) явления синтеза в живых организмах асимметричных молекул органических соединений – только правых или, чаще, только левых форм в отличие от абиогенного синтеза, который ведет к образованию одновременно обеих форм соединений. – *Ред.*]

³ Bernard C. Lecons sur les phenomenes de la vie. P., 1878. Т. 1. P. 675. [Назвав среду жизни «космической», К. Бернар (1813–1878) подчеркнул точку зрения о независимости условий среды существования организмов от их жизнедеятельности, широко распространенную среди биологов прошлого. – *Ред.*]

личаются по симметрии и атомному номеру¹; 3) наиболее тонкие модификации², которые различаются только симметрией, а вес и номер остаются теми же.

18. Мы видим, что признаки существования изобаротопических модификаций нового типа возникают в этом бесконечном мире атомов всегда более часто. Эти модификации могут быть скоропреходящими или устойчивыми, как в случае углерода, но они, конечно же, согласуются с глубокими и важными свойствами атомов.

Две модификации атомов гелия представляют собой один из самых известных случаев³.

Возможно, окажется, что эти модификации принадлежат к разным классам, но нас в данной проблеме интересует само их существование, теперь уже несомненное.

Можно представить эти системы различным образом, можно изучить их статику и говорить об их *симметрии*, а также можно выразить их в виде динамических моделей.

Следуя по пути, открытому Э. Резерфордом и Н. Бором, именно последним способом можно представить модификации гелия. Дж. Бернал в процитированной выше работе пытается таким же образом представить графитные атомы.

19. В настоящее время внимание ученых особенно привлекают изотопы. Это наиболее известные модификации. Иногда их можно получить в весомом количестве, и мы обладаем всеми средствами их точного различения.

История изотопов в живом веществе полностью неизвестна. Однако серьезных препятствий для ее изучения нет: речь идет только об организации исследовательской работы, а этоо вопрос времени и средств.

И кто знает, какие горизонты откроет нам подобное изучение, какие последствия оно будет иметь для блага и могущества человека?

С научной точки зрения даже отрицательный результат может иметь большое значение, так как он позволит нам более точно понимать проявления жизни.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ВЕЛИЧИН (Δ , V , e) ОДНОЛЕТНИХ ЦВЕТКОВЫХ РАСТЕНИЙ*

1

Для определения геохимической энергии однолетних цветковых растений с половым размножением могут служить следующие формулы:

$$\Delta = \frac{\lg q}{365 \lg 2} = \frac{\lg q}{109,86595},$$

где q – среднее количество семян в одном растении.

¹ Aston F. es isotopes. P., 1923. P. 14.

² Их можно назвать *изобаротопами*.

³ Об этом Дж. Мак-Леннан и Э. Резерфорд сообщили Британской ассоциации содействия развитию наук в 1923 г.

Эта формула отвечает обоеполым растениям. Для растений, где полы разделены (при условии, что число женских особей равно числу мужских)¹:

$$\Delta = \frac{\lg \frac{q}{2}}{109,87595}.$$

Зная Δ , можно вычислить скорость передачи жизни²:

$$V_1 = \frac{13962,96\Delta}{18,70762 - \lg k_1} \text{ см/с}^3.$$

В этой формуле $k_1 = r^2$.

Величина r равняется наибольшему диаметру проекции растения на занимаемую им площадь, т.е. r равно удвоенной величине наибольшей средней длины боковых ветвей или наибольшему среднему диаметру пучка, образующего растение.

Другим выражением v является

$$V_3 = \frac{13962,95445\Delta}{18,70762 - \lg k_3} \text{ см/с.}$$

где k_3 – ареал, необходимый для развития растения, т.е. количество квадратных сантиметров, отвечающих неделимому при наиболее благоприятной густоте произрастания растений.

Зная v_1 или v_3 , можно вычислить кинетическую геохимическую энергию растения e . Именно:

$$e_1 = \frac{mv_1^2}{2}, \quad e_3 = \frac{mv_3^2}{2},$$

где m – средний вес живого растения, когда оно находится в почве.

2

Таким образом, необходимо измерить в природе следующие величины:

q – среднее количество семян, даваемое ежегодно одним растением;

r – средний диаметр поперечного сечения растения в его максимальном проявлении – в сантиметрах;

k_3 – средняя густота произрастания данных растений в их наиболее благоприятном развитии – в квадратных сантиметрах;

m – средний вес взрослого растения – в граммах.

* Опубликовано в: Наставления для определения геохимических постоянных. Л.: Изд-во АН СССР, 1926. 9 с.

¹ Это формула приближенная. В действительности $\Delta = \frac{\lg \frac{q}{2}}{109,87595} + \frac{0,00274}{m_1}$, где m_1 – количество лет от начала размножения. Второй член уменьшается с каждым годом. Для 274 лет равен 0,00001. Он мало влияет на Δ при большом q .

² О Δ см. мои статьи в: Comptes-Rendus de l'Acad. d. Sc. de Paris. P., 1 sem. P. 2079; Природа. Л. 1925. № 10–12.

³ Точнее $V_1 = \frac{13962,95445\Delta}{18,70762 - \lg k_1} \text{ см/с.}$

Полученные таким образом величины Δ , v и e будут характеризовать реально существующее размножение и отвечающую ему геохимическую энергию однолетних растений. Они должны быть различны для одного и того же подвида для разных почв, местностей, растительных сообществ. Я думаю, что онкологическое и геоботаническое значение этих величин должно быть очень велико. Очевидно, при всех этих числах необходимо одновременно точное знание вида (линнеевского) и подвида растения, *научное определение почвы*, на которой оно растет; должны быть указаны точно местность и время изучения. Очень, конечно, важно точное установление растительного сообщества, в котором взято растение.

Эти географически и ойкологически меняющиеся величины всегда *ниже* тех величин, каких данное растение может достигнуть при максимальном проявлении своей геохимической энергии.

Максимальная энергия может быть определена эмпирически, исходя из наблюдаемых в природе для данного вида колебаний Δ , e и v ; она может быть получена опытным путем, путем культур: установлением наибольшего плодородия данного организма на определенной площади. Может быть, будет возможно заранее определять максимальную геохимическую энергию (максимальные величины e , V и Δ), если окажется, что есть общий предел для величины A на гектар для однолетних растений или для их семейств, как это мы имеем для всех протистов¹.

Определение величины m , q , r , k_3 требует однообразных приемов. *Средний вес* – величина m – относится ко всему растению, взятому *с корнями*.

Для *среднего веса* необходимо брать несколько сот экземпляров. 300 экземпляров дают уже хорошие цифры; 400 экземпляров – точную цифру в пределах точности измерений. Для получения среднего веса необходимо вносить *поправку на испарение и дыхание*.

Можно вести определение его следующим образом.

1. Отмечается *время*, когда растение *выкапывается из земли*. Так как необходимо вырывать много растений, то отмечается *время* (часы и минуты) вынутая из земли первого и последнего растения из тех, которые взвешиваются одновременно.

Растения кладутся на большие весы (например, хорошие рoberвалевские), взвешиваются с точностью до дециграммов или сантиграммов, причем отмечается *количество* взвешиваемых растений.

Отмечаются *время* (часы, минуты) первого взвешивания и соответствующий вес (a). Через 15–20 мин, оставляя растения на весах, делается второй отчет (b), через 15–20 мин – соответственно третий (c) и, если нужно, четвертый.

Если все идет нормально, отчеты – a , b , c – будут показывать постепенное уменьшение веса вследствие потери воды и летучих веществ; при этом графически (абсциссы – время в минутах; ординаты – веса в сантиграммах – или обратно) отчеты расположатся на *прямой линии*.

¹ Величина A исчисляется на гектар. Она равна $A_1 = \frac{mv_1^2}{2} \frac{10^8}{k_1} CGS$, $A_3 = \frac{mv_3^2}{2} \frac{10^8}{k_3} CGS$.

Продолжая эту прямую линию экстраполяцией до времени начала вынимания растений, мы получаем *вес растения в земле* (d)¹. Обычно потеря влаги растением идет очень быстро и поправка, этим путем вносимая, бывает очень велика (иногда больше 30%).

Средний вес должен исчисляться из веса d , который указывает *вес всех взвешиваемых живых растений в почве*. Средний вес – m равен.

$$\frac{d}{N} = m,$$

где N – число взвешиваемых растений.

В том случае, когда нельзя взвешивать каждое растение и берется их много для взвешивания, поправка на потерю воды для веса d относится ко времени, промежуточному между временем вырывания первого и последнего растения, взятого для работы. Желательно, чтобы этот промежуток времени ($s - p$) был возможно короток. Например,

p – время вырывания первого растения (часы – минуты);

s – время вырывания последнего растения (часы – минуты);

t – промежуточное время; причем

$$t = p + \frac{s - p}{2} \text{ (часы – минуты).}$$

К этому времени t должен относиться получаемый экстраполяцией вес d .

Если нельзя или неудобно взвесить сразу 300–400 экземпляров, можно брать их и взвешивать любыми порциями, в разное время. Из всех сведенных к почве весов надо взять общее d и разделить его на общее число организмов – N .

Растения необходимо брать для взвешивания в *зрелом состоянии – в цвету* или *с семенами, все в одинаковом состоянии*.

Женские и мужские особи не должны смешиваться: если растения раздельнополы, желательно знать средний вес женских и мужских особей отдельно и определить отношение числа женских и мужских особей в природе в данном биоценозе друг к другу.

5

Для *определения r* необходимо иметь среднее наибольшее сечение растения, причем надо брать для его получения самые длинные боковые ветви. Достаточно измерить для каждого растения самую длинную боковую ветвь растения (в сантиметрах), т.е. расстояние от ствола до крайней боковой точки растения. Средняя этих величин для всех растений (300–400 экземпляров) даст r_1 , а $2r_1 = r$.

Величина $k_1 = r^2$ (квадратные сантиметры).

Для получения средних величин можно употреблять те же растения, для которых определяется средний вес. Но может быть, для избежания долгой потери воды во время измерения размеров иногда более удобно произвести эти измерения отдельно.

¹ Это можно сделать только в том случае, если три первые определения веса – a , b и c – лежат на одной прямой.

Длина растения (h) для данных вычислений не имеет значения, но было бы желательно ее знать (в средних величинах), так как она позволит делать вычисления объема и поверхности растений, знание которых бывает иногда важно.

Попутное ее получение нетрудно и, может быть, есть зависимость h/r , которая окажется важной при проверке получаемых результатов.

6

Для вычисления величины k_3 надо знать количество неделимых данного растения на определенной площади растительного сообщества. Надо выбирать такие участки, которые состоят *сплошь* только из неделимых данного растения и дают хорошее развитие его особей.

Важно иметь среднюю величину из возможно большего количества наблюдений, которые, очевидно, могут делаться в разных местах изучаемого участка. Складывая площади этих выбранных мест участка и количество неделимых их сплошного покрова, мы имеем среднее k_3 :

$$k_3 = \frac{S}{N} \text{ см}^2,$$

где S – сумма измеренных площадей, N – общее количество неделимых на них.

Чем больше N и S , тем точнее определено k_3 .

Очевидно, некоторые затруднения может представлять определение площади. Можно для измерения выкраивать квадраты или параллелограммы и измерять в сантиметрах их стороны. Отсюда легко вычисляются площади.

Для культурных растений и для опытов k_3 получается легко, когда известно, при какой густоте (т.е. количестве неделимых на определенной площади) получается их наиболее пышное развитие.

В этом случае величины V_3 и Δ близки к максимальным для данного организма.

7

Для определения q необходимо иметь среднее число семян на одно растение для 300–400 неделимых.

Можно собрать *все семена*, сосчитать их число и затем разделить на количество взятых неделимых.

Для данной цели нет надобности делать отдельно подсчеты для каждого неделимого, но, может быть, биологически амплитуда колебаний (minimum и maximum количества наблюдаемых семян) для отдельного растения имеет значение, и тогда этот подсчет может быть произведен.

Необходимо считать все семена, развившиеся и неразвившиеся. Если биологически различие этих семян (так же как всхожесть) имеет значение, могут быть сделаны соответствующие подсчеты и внесены поправки в определение Δ – реальной по сравнению с той потенциальной, какая получается при подсчете всех семян (т.е. всех зародышей).

Вес семян (средний) их размеры (средние) для данной цели не имеют значения, но, может быть, желательно не упустить их измерить ввиду их большого значения в ряде биологических вопросов.

Было бы чрезвычайно желательно, чтобы не было выброшено вещество, служившее для установления *среднего веса*, так как только так собранное растение может служить материалом для химического анализа.

После определения веса d растение должно быть высушено при возможно низкой температуре (лучше не выше 40 °С, может быть, в вакууме) и в сухом виде еще раз взвешено и сохранено.

Если из него взяты были семена, т.е. произведено определение веса растения в зрелом состоянии, а не в цветущем, они должны быть прибавлены к тому же веществу.

Наши знания о химическом составе организмов ничтожны, так как они должны быть относимы к живому растению, выражаемы в процентах его неизменяемого обычно веса m , а не по отношению к случайным весовым количествам.

Очевидно, величины Δ , V и e , а равно величина m дадут целый ряд точных данных, как для множества геоботанических ботанико-географических и ойкологических проблем, так и для чисто биологических вопросов, связанных, например, в частности, с понятием вида и явлениями изменчивости.

Эти данные *биометрии вида*, как мне правильно указал проф. А. Мейер в Париже.

Прежде всего они должны внести точные числа в область знания, где их мало.

В ряде работ я указываю на их значение¹, и я вернусь в общей подготовляемой к печати сводке к выяснению наших знаний в этой области. Но имеющиеся данные случайны и дальнейшая работа затрудняется отсутствием наблюдений.

Наиболее важны наблюдения над большими, богатыми особями, семействами — *Gramineae*, *Compositae*, *Cruciferae*, *Papilionaceae*.

Прага
Декабрь, 1925

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ (величин Δ , V и e) некоторых групп насекомых*

Чрезвычайное разнообразие насекомых, разнообразие условий их размножения и условий их жизни вызывают очень большое различие в формулах, определяющих Δ , и в некоторых случаях приводят к довольно сложным их формам².

¹ Литературные указания см. в моей статье в «Природе». Л., 1925 и в печатаемой книжке «Биосфера» (Л., Науч.-хим. техн. изд-во).

* Опубликовано в: Наставления для определения геохимических постоянных. Л.: Изд-во АН СССР, 1926. 12 с.

² Общее рассмотрение этих явлений мною сдано в печать. См. мою статью в «Природе», 1925. С. 26 и в «Comptes-Rendus de l'Acad. d. Sc. de Paris» за 1925 г.

Я остановлюсь здесь на немногих случаях, более простых, с одной стороны, и, с другой стороны, охватывающих классы, наиболее распространенные и играющие важную роль или в структуре живой природы, или в геохимических ее проявлениях.

Прежде чем перейти к выяснению наблюдений, необходимых для вычисления Δ , я остановлюсь на вычислении v и e , оставляя пока Δ в стороне.

Здесь мы имеем следующие формулы:

$$v_3 = \frac{13962,95445 \cdot \Delta}{18,70762 - \lg k_1} \text{ см/с}, \quad v_3 = \frac{13962,95445 \cdot \Delta}{18,70762 - \lg k_3} \text{ см/с},$$

$$e_1 = \frac{mv_3^2}{2} \text{ CGS}, \quad e_3 = \frac{mv_3^2}{2} \text{ CGS}.$$

Кроме Δ , необходимо для получения величины *скорости передачи жизни* – v – определить в природе величину k_1 или k_3 .

Для получения выражения *кинетической геохимической энергии* – e – данного вида насекомых надо определить еще *средний вес* живого насекомого – величину m .

2

Остановимся сперва на этой величине, знание которой очень важно в ряде геохимических и, мне кажется, биологических проблем.

Знание этой величины необходимо прежде всего для научного *химического анализа* насекомых.

Можно сказать, что сейчас химический состав насекомых есть для нас совершенная *terra incognita*. Насколько я знаю, *нет ни одного полного анализа* насекомого, сделанного в условиях, удовлетворяющих научным требованиям.

Для того чтобы иметь материал для такого анализа, необходимо знать средний вес данного вида или подвида, по отношению к которому должен быть выражен химический состав насекомого (лучше в атомных процентах).

В *систематике насекомых средний вес* должен иметь значение не меньшее, если не большее, чем размеры насекомого, так как он дает точное выражение основного свойства всякого тела на Земле – его веса, т.е. в данном случае свойственной ему энергии жизненных процессов.

Определяя средний вес данного вида или подвида насекомых, надо иметь в виду и другие возможные его приложения.

Для получения среднего веса необходимо взвесить с достаточной точностью несколько сот неделимых. 300 неделимых дают уже достаточно точный средний вес; 400 – дают хорошую цифру. Но желательно брать возможно больше неделимых, так как тогда получается более точная цифра. Для насекомых это обычно вполне возможно.

Большая цифра неделимых должна быть непременно взята, когда одновременно взвешиваются самцы и самки ввиду большого иногда различия их масс.

Для насекомых вопрос о том весе, который должен быть взят для определения величины e , не всегда может быть решен просто, так как не всегда им должно быть *imago*.

Можно, мне кажется, установить правило, что для e должно брать максимальный средний вес индивида данного вида или подвида – m_1 , причем это может быть вес или личинки¹, или куколки, или совершенного насекомого.

Поэтому желательно иметь отдельно средние веса всех стадий организма².

Ввиду большого значения так определенных весов для химического анализа желательно, чтобы вещество не выбрасывалось, а было высушено в вакууме не выше 30 °С, вновь взвешено и сохранено.

3

Для определения величины k_1 необходимо знать наибольшие размеры организма.

k_3 определяет площадь – наименьшую, занимаемую организмом при наибольшем проявлении его размеров, например размаха крыльев бабочки или жука, длины тела с максимальной длиной усов в их возможном проявлении в природе и т.д. Оно будет выражаться уравнением

$$k_1 = r^2,$$

где r – наибольшее так определенное измерение организма, k_1 определяет площадь, в которой так проявленный организм может поместиться и свободно вращаться.

Для k_1 надо брать среднюю (300–400 экземпляров) величину r .

Обычно указывают в систематике пределы r . В таком случае мы имеем $k_{1 \min}$ и $k_{2 \max}$.

Для получения e этот метод определения r менее удобен.

k_3 должно выражаться в квадратных сантиметрах, а r – в сантиметрах.

4

Определение k_3 является одной из важнейших задач в области этих явлений, так как биологическое значение v_3 и e_3 очень велико.

k_3 представляет в квадратных сантиметрах средний ареал, необходимый для жизни данного организма в полном ее развитии в данном биоценозе и в данной местности.

В связи со сложными условиями жизни насекомых вопрос об определении k_3 должен быть решаем отдельно для каждого отдельного случая и представляет сам по себе биологическую задачу.

Общих правил дать нельзя. Приведу два-три примера.

Для пчел надо знать N – количество пчел улья или для максимального k_3 пчел пасеки; величину t – среднее расстояние, на которое улетает пчела для взятия пыльцы и нектара. В таком случае

$$k_3 = \frac{\Pi t^2}{N}.$$

¹ В очень многих случаях личинки в геохимических явлениях имеют гораздо больше значения, чем, imago.

² Для социальных насекомых (пчел, муравьев, термитов), у которых только один индивид дает потомство, надо знать вес всех неделимых улья или государства (P) и количество особей (N). В явлениях размножения социальное целое играет роль неделимого. Очевидно, для получения веса такого среднего неделимого улья (P/N) надо отдельно определить веса всех категорий организмов социального целого (трутней, рабочих, солдат и т.д.).

Для паразитов k_3 имеет всегда очень определенное значение – оно равно площади, занимаемой на земной поверхности проекцией размеров их хозяина. Другими словами: $k_{3 \text{ паразита}} = k_{1 \text{ хозяина}}$.

В другом месте я подробнее останавливаюсь на тех важных выводах, которые являются следствием этого равенства.

Организм – живой – хозяина необходимо должен существовать в целом виде для того, чтобы мог существовать и развиваться поселяющийся в нем паразит. Его сечение есть наименьший ареал паразита.

Но в такой простой форме ареал паразита может быть определен только для паразитов, проводящих всю свою жизнь в хозяине. Паразиты, меняющие хозяина и в некоторых своих стадиях живущие на свободе, имеют значительно больший ареал; для них k_1 есть ареал одной из стадий их жизни.

Для насекомого, питающегося растительной пищей, необходимо определение той площади, которая отвечает весу растений, потребных для его жизни в течение года.

Несомненно, благодаря сложности метаморфоза насекомых необходимо принимать во внимание разные ареалы для разных стадий их жизни. Для определения v_3 и e_3 обычно надо принимать максимальную для них величину k_3 , хотя бы она не совпадала по стадии развития организма с m_1 , т.е. с максимальным средним весом.

Только путем дальнейшей работы выяснятся многочисленные неясности в определении ареала; например, для жуков-короедов, должно быть, ареалом должна являться площадь обитания их личинки, а не площадь, связанная с размерами и жизнью imago.

5

Переходя к определению Δ , мы встречаемся с еще большими затруднениями.

Учитывая условия чисто геохимического характера, особый интерес представляет прежде всего определение элементов геохимической энергии для тех видов насекомых, которые дают наибольшие количества живого вещества в биосфере. С другой стороны, благодаря существованию соотношения между $k_{3 \text{ паразита}}$ и $k_{1 \text{ хозяина}}$ является чрезвычайно важным возможно большее накопление данных о геохимической энергии паразитов и их хозяев, так как с этим связано решение больших теоретических вопросов как геохимического, так и биологического интереса.

Область насекомых является особенно благодарной с этой точки зрения; большого внимания заслуживают многочисленные случаи, когда оба – и паразит и хозяин принадлежат к отряду насекомых, и случаи сложного паразитизма (сверхпаразиты и т.д.).

При учете геохимической энергии распространенных семейств насекомых надо иметь в виду, что насекомые составляют на суше главную массу живого вещества, собранного на ней в форме животных.

Из этих насекомых, очевидно, наибольшую массу дают: 1) насекомые, питающиеся растительной пищей, и 2) насекомые, питающиеся разлагающимися веществами, полные или частичные сапрофиты.

Хищники, по-видимому, захватывают меньшие массы химических элементов.

Поэтому на первом месте желательно определение Δ для первых двух групп насекомых.

В связи с предполагаемым изучением однолетних растений желательно выставить на первое место насекомых, питающихся *Gramineae*, *Compositae*, *Cruciferae*, *Papilionaceae*.

В наших широтах обращают на себя внимание муравьи, кузнечики и другие их родичи, разные мухи – *Diptera*, вообще некоторые семейства бабочек и жуков (например, хрущей), тли.

Для многих из этих организмов наиболее интенсивная их геохимическая работа производится их личинками и гусеницами.

Следующие простые формулы Δ могут отвечать многим из этих насекомых.

1-й случай. Потомство дается *один раз в год*. Количество яиц = q . *Количество женских и мужских особей одинаковое: $f/m = 1$.*

$$\Delta = \frac{0,00274}{m^1} + \frac{\lg \frac{q}{2}}{109,87595}.$$

В пределе можно взять:

$$\Delta = \frac{\lg \frac{q}{2}}{109,87595},$$

так как m^1 есть количество лет от начала размножения, то с ходом времени первый член быстро уменьшается. Его влияние тем меньше, чем больше q .

Для определения Δ достаточно, таким образом, знать только количество яиц – q . Оно может быть узвано или наблюдением реальных кладок, или подсчетом яиц в самке, как это уже делали старинные энтомологи. Чем ближе q к среднему числу (т.е. чем для большего количества неделимых оно определено¹, тем Δ определено более точно. Насекомое умирает в тот же год, когда дает потомство.

2-й случай отличается от предыдущего только тем, что в год получается несколько поколений, причем давшие потомство организмы умирают в течение того же года. Количество женских и мужских особей одинаково. Поколения относятся к годовому циклу (365 дней), причем в их чередовании есть обычно остановка (зимой в наших широтах).

$$\Delta = \frac{0,00274}{m^1} + \frac{g \lg \frac{q}{2}}{109,87595},$$

где q – количество (среднее) яичек в каждом поколении, m^1 – количество лет от начала наблюдения, g – количество поколений в год.

Очевидно, и здесь можно взять предел:

$$\Delta = \frac{g \lg \frac{q}{2}}{109,87595}.$$

¹ Желательно определить его для 300–400 неделимых, что, очевидно, практически очень затруднительно.

Очевидно, и здесь количество ячеек определяется так же, как и в первом случае, и тем точнее будет Δ , чем оно определено для большего числа неделимых.

Количество поколений – g – тоже должно быть по возможности средним числом, так как оно, по-видимому, колеблется в известных, небольших, пределах из года в год.

Это величины, меняющиеся по биоценозам и географически.

Формулы Δ будут усложняться, когда количество женских и мужских особей не равно, т.е. их отношение не равно единице.

Поэтому определение этого числа – назовем его ж – является очень важным и должно по возможности делаться всегда.

Приведенные два простых случая достаточны для очень многих насекомых, в том числе и для очень обычных. Но они далеко не охватывают всего разнообразия природного явления.

Так, целый ряд насекомых дает потомство не каждый год, а через ряд лет. В личинковой стадии, например, хрущи или цикады живут ряд лет, не давая потомства. Определение этого периода – p – необходимо для вывода формулы их Δ . Обычно определяют p в годах.

Для социальных насекомых, как термиты, где потомство дает одна особь, а остальные являются бесполоыми, необходимы для вывода Δ данные об a – количестве ячеек, откладываемых царицей-маткой в год, u – количество роев в год¹.

6

Таким образом, не давая исчерпывающего обзора, необходимо для определения Δ , v_1 , v_3 , e_1 , e_3 наблюдение следующих *средних величин* в природе. Это количественные определения *видовых* и *подвидовых* признаков и их вариаций в связи с географическими условиями и биоценозами:

m – средний вес живого неделимого отдельно в его *имаго*, личинке и т.д.;

m_1 – максимальный (*граммы*) из этих весов для данного вида или под-вида²;

kr – наибольшее среднее измерение организма (его длина, размах крыльев и т.д.) (*сантиметры*);

k_3 – ареал, когда возможно (*кв. сантиметры*);

* N – число (среднее) неделимых социального поселения насекомых (ульи, муравейники и т.д.);

* t – наибольшее (среднее) расстояние ареала этого поселения (*сантиметры*);

q – количество ячеек, откладываемое одним неделимым для рождения следующего поколения;

g – количество поколений в год;

$ж$ – отношение между числом женских и мужских особей;

* a – количество ячеек, откладываемых царицей-маткой в год;

* u – количество роев в год.

* Обозначения звездочкой касаются социальных насекомых.

¹ Мы видели, что для этих насекомых необходимо для k_3 знание среднего населения улья или пасеки.

² Когда m_1 неизвестен, надо брать в расчет вес *имаго*.

Несомненно, определение этих величин требует труда и времени, однако едва ли можно сомневаться, что оно не останется бесплодным.

Помимо того значения, какое имеют эти вопросы для геохимических проблем, можно ждать этим путем разрешения вопросов и чисто биологических, частью связанных с систематикой, частью с общими явлениями устройства организма.

Больше того, все указывает, что существуют соотношения между количественным выражением веса, размера и темпа размножения организмов, — одни могут быть вычислены из других. Но эти соотношения могут быть найдены только при накоплении достаточного числа относящихся сюда наблюдений.

Наблюдения над насекомыми имеют с этой точки зрения огромный интерес, особенно наблюдения над паразитами и над кинетической геохимической энергией на гектаре (A), выражаемой формулами:

$$A_1 = \frac{10^8 e_1}{k_1} CGS \quad \text{и} \quad A_3 = \frac{10^8 e_3}{k_3} CGS.$$

О выводах, связанных с A , я говорю в другом месте.

Очевидно, во всех этого рода работах должны быть точно указаны вид и подвид насекомого, время его сбора, характер биоценоза, географическое нахождение¹.

Прага
I. 1926

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЭТЮДЫ

I. О СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЖИЗНИ В БИОСФЕРЕ*

Представлено в Академию наук 12 мая 1926 г.

1. Живые организмы, взятые во всей совокупности (*живое вещество*)², проявляют себя в биосфере в первую очередь через производимую ими огромную химическую работу. Эта работа выражается беспрестанным движением химических элементов земной коры (их геохимическими циклами)³, движением, производимым дыханием (газовый обмен), питанием, метаболизмом организмов вообще, их ростом и размножением.

Эту работу следует рассматривать как проявление общей химической энергии биосферы, энергии, которая определяет движение всех химических элементов. В дальнейшем я назову эту химическую энергию *геохимической*. Именно она в химии биосферы регулирует бесчисленное количество беспрестанных и бесконечно разнообразных движений химических элементов, движений, которые составляют основу всех земных химических процессов.

¹ См. для растений: *Вернадский В.И.* Определение геохимической энергии однолетних растений. Л., 1926; *Он же.* Биосфера. Два геохимических очерка. Л.: Науч.-хим.-техн. изд-во, 1926.

* Статья опубликована на французском языке в: Изв. АН СССР. Сер. 6. 1926. Т. 20, № 9. С. 727–744. Перевод Е.В. Соловьевой. На русском языке публикуется впервые.

² *Vernadsky W.* La géochimie. P.: Alcan, 1924. P. 52.

³ *Вернадский В.И.* Биосфера. Л.: Науч. хим.-техн. изд-во, 1926. С. 30.

Взятый по отношению к живым веществам, *продукт этой работы* является неоднородным: в первую очередь он представлен *массой* – весом – образованных организмов, во вторую очередь – *возвратно-поступательным движением химических элементов* (жизненным круговоротом Кювье), которое через дыхание и метаболизм поддерживает жизненную машину (поддерживает жизнь), и, в-третьих, *движением живых масс*, движением, определяемым размножением.

Существование этого последнего движения является, может быть, самым характерным свойством геохимической энергии живых тел. Это движение четко и глубоко отличает их от всех других тел (неживое вещество), которые составляют биосферу¹.

2. Вся эта работа является проявлением геохимической энергии, свойственной живой материи. Она может иметь место только вследствие беспрестанного участия живой материи в многочисленных химических процессах биосферы.

Рассматривая продукт этой работы по отношению к самой живой материи, можно представить всю геохимическую энергию каждого живого тела следующим уравнением:

$$E = E_1 + E_2 + E_3, \quad (1)$$

где E есть вся геохимическая энергия, необходимая для существования этого живого тела, E_1 , E_2 и E_3 – ее части, которые производят массу (E_1), метаболизм (E_2) и размножение (E_3) живого тела.

Каждая часть энергии должна быть количественно отличной и специфичной для каждого живого вида и для каждого организма, который ему соответствует.

Средний вес взрослого индивида или колонии остается всегда определенным для каждого вида и характерным для него. То же самое относится и к воспроизведению живых существ: к количеству потомков, к интервалам, которые их разделяют.

Метаболизм – единственно, что поддерживает рост и размножение организованных существ, – должен быть, следовательно, также характерным и определенным для каждого вида.

3. Геохимическая энергия – как каждый вид энергии – может быть потенциальной или активной (свободной). Только эта последняя производит работу, и только она представлена в уравнении (1) E .

Следовательно, нужно сделать заключение, что геохимическая энергия каждого вида, способного производить геохимическую работу, является ограниченной и фиксированной.

Это ограничение выражается в продолжительности работы, которую она производит. Часть E_1 прекращает проявление, начиная с некоторого предельного веса организма, часть E_2 определяется продолжительностью жизни организма, часть E_3 – количеством индивидов в виде.

Опыт доказывает нам на каждом шагу существование этих пределов. Конечно, эти пределы частично определяются организацией живых существ, но эта организация сама является производной от химической структуры биосферы и неразрывно связана с последней.

¹ Vernadsky W. La géochimie. P.: Alcan, 1924. P. 72.

Нужно обязательно искать долю игры биосферы в этих явлениях, и в первую очередь иметь в виду размеры планеты и массу вещества – особенно массу газа, которую совокупность организмов вида может разместить в среде своего обитания.

4. Ясно, что размеры планеты ограничивают – только они – максимальную массу вида (масса M), которая может существовать на нашем земном шаре и которая не может быть никогда превышена.

Она определяется формулой

$$M = p \cdot N_{\max}, \quad (2)$$

где p есть средний вес одного представителя вида во всей полноте его жизни, N_{\max} – максимальное количество индивидов одного вида, рода или подвида, которые могут существовать в биосфере или могут найти место на поверхности планеты (равной $5,10065 \cdot 10^{18} \text{ см}^2$). Я называю это число *максимальным стационарным числом вида*.

5. Для каждого вида максимальное стационарное число является определенным и специфическим, как и вес его индивидов.

Однако это свойство является более сложным, чем свойство среднего веса, так как количество, которое ему соответствует, может иметь значения, различные в зависимости от стабильности систем – динамических равновесий, проявлением которых оно, конечно, является.

Таким образом, в первую очередь можно рассматривать это число только в соответствии с размерами организма. То есть можно определить количество организмов одного вида, которые покрыли бы площадь в $5,10065 \cdot 10^{18} \text{ см}^2$ непрерывным слоем таким образом, что каждый организм занял бы минимальный участок. Этот участок, равный $k \text{ см}^2$, определялся бы самым большим размером организма (r) в своей проекции на эту площадь, т.е.

$$k_1 = r^2, \quad (3)$$

где r есть самый большой размер организма, когда он принимает участие в образовании этого слоя.

Я назову таким образом образованное максимальное стационарное число $N_{1\max}$. Оно определяется уравнением

$$N_{1\max} = \frac{S}{k_1}, \quad (4)$$

где $S = 5,10065 \cdot 10^{18} \text{ см}^2$.

Очевидно, что $N_{1\max}$ является физически возможным максимальным числом. Оно соответствует максимальной плотности слоя. Таким образом расположенные организмы, так плотно, могут существовать не умирая только в течение очень ограниченного времени. Это число обязательно соответствует *неустойчивому равновесию*. Однако оно может существовать некоторое время в случаях, когда сила размножения организмов больше, чем сопротивление среды, где это размножение происходит.

Масса M_1 вещества, которая ему соответствует,

$$M_1 = p \cdot N_{1\max}, \quad (5)$$

может существовать только ограниченное время. Она *неустойчива*. Она произвольно разлагается и обязательно исчезает.

6. Другое представление N_{\max} является более важным, так как оно учитывает непрерывное существование видов на протяжении миллионов лет. Каждое организованное существо должно, чтобы жить и размножаться, пользоваться полнотой движения и всегда достаточным запасом пищи. Из этого вытекает, что должен существовать определенный участок на земной поверхности, соответствующий каждому индивиду, необходимый для того, чтобы вид мог продолжаться и размножаться в оптимальных условиях своей жизни.

Этот участок, который я назову k_3 (измеряется в квадратных сантиметрах), находится в сильной зависимости от структуры организма, от его питания, его привычек. Это очень характерная для вида биологическая величина.

Если бы рассматривались только организмы, такие, как земные зеленые растения или земные животные, которые не могут существовать на поверхности планеты иначе, чем в форме слоя ненаслаивающихся индивидов, k_3 было бы всегда большим, чем k_1 , и, следовательно, $N_{3\max}$ было бы обязательно *меньше*, чем $N_{1\max}$.

Я называю стационарное число, соответствующее k_3 , числом $N_{3\max}$. Оно равно

$$N_{3\max} = \frac{S}{k_3}. \quad (6)$$

Это число определяет очень важную, характерную особенность вида. Масса M_3 , которая соответствует $N_{3\max}$, представляет собой сумму геохимической работы живого вида в стабильной форме. Это максимум вещества, которое может существовать на нашей планете в форме организмов этого вида без изменения, пока не изменятся условия жизни.

У земных организмов, которые могут существовать только ненапластованными, M_3 всегда меньше, чем M_1 . Имеются случаи, например у злаковых, когда M_3 равна или близка M_1 .

7. В определении M_1 и M_3 (§ 5, 6), чтобы рассчитать $N_{1\max}$ и $N_{3\max}$, мы приняли во внимание покров земной поверхности живым веществом толщиной, всегда равной высоте индивида. Неразрывный слой этого вещества, соответствующий $N_{1\max}$, имеет в этом случае минимальную толщину. При этом мы не разграничивали водные организмы и наземные организмы. Очевидно, однако, что водные организмы могут и должны быть напластованными в их жизни. Они живут не на поверхности, а в объеме. То же самое относится и к паразитам.

8. Можно тем не менее выразить плотность водной популяции также по отношению к поверхности, а не к объему тем же самым способом, как это делают в уравнениях продуктивности водных бассейнов.

Ясно, что индивиды каждого водного вида, чтобы сохраниться, должны иметь в своем распоряжении определенный объем жидкости (я назову этот объем k_4). Таким образом, в случае $N_{3\max}$ проекция этих организмов на площадь бассейна будет соответствовать проекции этого объема на эту площадь. Получим k_3 этих организмов, беря отношение между площадью и суммой участков, соответствующих проекциям объемов k_4 . С первого взгляда не представляется невозможным, чтобы k_3 , определяемый таким образом, был бы меньше, чем k_1 . (Однако эти случаи не представляются существующими (§ 9).)

Эти соображения относятся только к свободным водяным существам, не неподвижным существам планктона – к бактериям, рыбам и т.д. У неподвижных существ бентоса (или неподвижных на других организмах), которые могут быть напластаны в их жизни, для определения k_3 достаточно знать максимальное число индивидов, которые могут жить, сохраняться на определенном участке морского дна. В этих случаях определение их k_3 не будет отличаться от определения для земных напластованных существ, например тлей, пчел или других насекомых.

9. Определение $N_{1\max}$ водных существ по отношению к участку их поверхности является менее четким. Нельзя быть уверенным, что количества водных существ, расположенных с максимальной плотностью на поверхности бассейна, соответствуют максимально возможной популяции бассейна, т.е. k_1 у одного и того же организма всегда меньше, чем k_3 .

Мы должны искать решение проблемы в наблюдении.

Уже существуют указания, косвенные, это верно, но очень важные, которые подтверждают мысль, что k_3 не может никогда быть меньше, чем k_1 , и что, следовательно, M_1 будет всегда соответствовать, даже в случаях водных плавающих и подвижных существ, максимальной массе, хотя и непостоянной.

Указания, о которых я говорю, нам даны с помощью уравнений биологической продуктивности морей. В этих уравнениях употребляется, как это известно, тот же самый прием, который мы употребляем здесь: соотносят с площадью – гектаром – всю морскую изучаемую популяцию. Выражается на гектар масса органического сухого вещества, образованного морской жизнью, во всем водяном столбе под гектаром (у океана в среднем толщиной 3,7 км).

Из этих уравнений вытекает факт первостепенного значения, состоящий в том, что массы органического вещества этих морских гектаров имеют тот же порядок (может быть, идентичны), как и те, которые образуются на гектаре твердой земли.

Возможно объяснить этот результат, только допуская, что масса сухого вещества – и обязательно количество представляемых ею индивидов – находится в генетической связи с *поверхностью* морских бассейнов.

Эта масса, а также количество соответствующих ей организмов являются функцией геохимической энергии живого вещества. Мы знаем, что эта энергия является в конечном счете производной от солнечной радиации. Солнечная радиация представляется постоянной, неизменной. У океана она независима от толщины последнего и пропорциональна его площади.

Можно, следовательно, думать, что тождество уравнений плодородия земных гектаров и морских гектаров не иначе как следствие тождества количеств солнечной энергии, источника геохимической энергии жизни, которую они получают.

Если это так, то масса образованных организмов никогда не сможет превзойти у бассейна число $\frac{S}{k_1}$ (где S – площадь бассейна) во всех случаях закрытых бассейнов и, следовательно, во всем Океане, рассматриваемом как единственный неделимый бассейн.

В этом случае k_1 водных существ будет представлять минимальный участок, который может быть прекрасно сопоставим с k_1 земных организмов, и масса M_1 , которая ему соответствует, будет максимальной непостоянной массой (§ 5) у всех живых видов, земных или водных.

10. В расчетах M_1 и M_3 мы все время соотносим эти массы с одним и тем же масштабом – масштабом поверхности земного шара, равным $5,10065 \cdot 10^8$ см². Однако очевидно, что суша занимает только 29,2% этой площади, а моря покрывают стальную часть этой поверхности. Это соотношение не является постоянным и меняется непрерывно, возможно, сильно меняется на протяжении существования вида. Существуют даже виды, которые пережили все изменения распределения суши и морей, начиная с основания палеозойской эры.

Следовательно, недостаточно принимать во внимание только современное распределение суши и морей.

В то же самое время нужно иметь масштаб для сравнения, единый и общий, чтобы можно было количественно сравнивать геохимические энергии всех различных видов.

Этот масштаб не может быть независим от земного шара, так как мы сравниваем явления, которые в их самой глубинной структуре регулируются биосферой.

В таких условиях этот масштаб может быть только самой большой длиной, которая может существовать на нашей планете, так как размножение организмов – одно из проявлений геохимической энергии – безгранично (§ 15). Поверхность одной только планеты может, следовательно, служить подобным максимальным масштабом на нашем земном шаре для таких явлений.

11. Структура биосферы обязательно предполагает сосуществование суши и морей¹. И далеко не случайно такое сосуществование установлено для всех геологических периодов. Противоположные гипотезы некоторых геологов, Э. Зюсса например, которые допускали период в эволюции нашей планеты, когда суша не существовала, опровергаются фактами.

Это неоспоримо, а также неоспоримо, что допущение, которое мы сделали в наших расчетах M_1 и M_3 , хотя и не может быть вполне осуществимым, тем не менее является совершенно справедливым.

Здесь речь идет не о том, чем занята реальная земная поверхность, а о силе, присущей каждому живому виду, который был бы способен ее проявить. Эта присущая мощность обязательно приспособлена к условиям нашей планеты и определяется ее размерами. Она должна быть независима от меняющегося распределения суши и моря или от адаптации некоторых организмов к изменениям условий жизни. Она должна быть независима от различия геологических периодов и от количества видов, которые существуют или которые существовали.

В действительности все живые организмы, все виды образуют единый живой блок, обязательно связанный в своей жизни и в своей структуре со всеми частями биосферы. В этом смысле земные и морские организмы не являются совершенно независимыми. Они, кроме того, связаны их общим генезисом. Живой блок обязательно ограничен в своих свойствах и во всей

¹ Вернадский В. Биосфера. Л.: Науч.-хим.-техн. изд-во, 1926. С. 144.

своей структуре размерами земной поверхности, местом своего существования, массой, химическим составом, энергетикой биосферы.

Для живого блока поверхность Земли представляет не максимальный масштаб для сравнения геохимических энергий его частей, а реальный предел проявления его геохимической энергии. Отсюда вытекает, что энергии его частей – отдельных видов – не могут никогда его превзойти.

В этом смысле земная поверхность является *естественным масштабом явления*, так как именно она в действительности регулирует проявления геохимических энергий.

12. Массы M_1 и M_3 могут быть сравнимы у различных видов и доставить таким образом данные, которые мне представляются важными, особенно в изучении проблем их распределения в биосфере, структуры их биоценозов. Такое сравнение может также подчеркнуть черты чисто биологические, очень любопытные.

Я не буду заниматься здесь анализом этого вопроса. Вся эта область только лишь затронута, не хватает наблюдений, особенно для M_3 . Для масс M_1 можно уже сделать некоторые выводы, так как массы M_1 должны варьировать у различных видов пропорционально толщине слоя, который они образуют (т.е. высоте организмов) и их химическому составу (соотношение химических элементов более тяжелых, чем кислород – как самого тяжелого элемента из доминирующих компонентов протоплазм).

13. Массы M_1 и M_3 дают нам четкое представление о максимальных возможностях, на которые способны геохимические энергии отдельных видов, но они не могут измерить работу, продуктом которой эти возможности являются, так как здесь не хватает одного элемента из процесса – времени. Очевидно, что эти массы могут быть произведены только в очень различные промежутки времени (§ 15).

Очевидно также и то, что в данных условиях они не могут сравниваться у различных видов с точки зрения их геохимических энергий.

Чтобы иметь возможность это сделать, нужно было бы свести их к одному и тому же временному масштабу.

14. В выражение (2) $M = p \cdot N_{\max}$ время входит двумя различными способами.

Это в первую очередь, время образования массы p – *время роста*. И во-вторых, это – время образования количества N_{\max} организмов – *время размножения*.

С точки зрения геохимической время размножения имеет еще одно значение. Именно это время выражает *движение активной геохимической энергии живых веществ на земной поверхности*.

Конечно, это движение соответствует только особому случаю – случаю движения как можно самого быстрого, соответствующего минимальному времени размножения вида.

Позже мы будем заниматься только этим временем размножения.

15. Существует очень старое эмпирическое обобщение, корни которого могут быть прослежены вплоть до XVI в., что популяция каждого вида *раздваивается* в определенный период, отличный и специфический для каждого вида¹. Иначе говоря, размножение может быть выражено геометрической

¹ У крыс и людей.

прогрессией, определенной и специфической для каждого вида, основание которой равно 2. Следовательно, можно написать следующее соотношение:

$$2^{n \cdot \Delta} = N_n' \quad (7)$$

где n – число суток (24 часа), в которые образуются воспроизведением N_n' организмов, Δ – количество генераций¹ (время родов) за одни сутки (24 часа)².

Я не буду останавливаться здесь на обсуждении этой формулы, ее применении в сложных случаях, на поправках, которые она часто требует, – я сделаю это в другом месте³.

Я буду рассматривать выражение (7) [$2^{n \cdot \Delta} = N_n'$] как математическое выражение эмпирического обобщения, выражение, которое указывает, что размножение всегда может быть выражено удвоением числа индивидов в определенных и характерных для вида интервалах времени.

Δ этого выражения будет нам служить специфической константой для каждого вида, которая характеризует его размножение.

Δ может варьировать только в определенных пределах, *ее максимум не превышает, вероятно, 64* (у бактерий). Что касается ее минимума, то он также не точен. Он порядка $n \cdot 10^{-4}$, даже, может быть, $n \cdot 10^{-5}$ (большие млекопитающие).

В дальнейшем в этих этюдах я вернусь к следствиям, которые можно извлечь из обсуждения указанных выше пределов, следствиям, которые мне представляются важными⁴.

Прогрессия (7) не ограничена. Таким образом, она представляет собой процесс, который не имеет конца. N_n' может быть таким большим, как хочется.

16. Существуют в поле явлений воспроизведения и размножения организмов – поля теоретически так важного и так заброшенного текущей научной работой – другие эмпирические обобщения, которые также не вызывают сомнений.

Следующие обобщения могут быть нам полезны в дальнейшем изложении:

1. Существует связь между размерами организма и скоростью его размножения. Маленькие организмы размножаются быстрее, чем большие.

2. Размножение подчиняется *принципу инерции*. Это обобщение было выражено Ч. Дарвином (1859) следующим образом: «Каждый организм – если ему это позволяет среда – может полностью заселить всю поверхность нашей планеты в различный промежуток времени».

17. Стационарные числа индивидов N_{\max}^1 и N_{\max}^3 могут быть получены различными видами в различное время, определенное для каждого из них. Можно вычислить это время, пользуясь следующими формулами:

$$2^{n'\Delta} = N_{\max}^1 \quad (8)$$

$$2^{n''\Delta} = N_{\max}^3 \quad (9)$$

¹ Δ не является вообще целым числом, и в большинстве случаев это дробь. Δ не является, следовательно, реальным числом поколений в биологическом смысле.

² Δ соответствует реальным поколениям только в случае с протистами, которые размножаются делением (удвоением).

³ Вернадский В. Ход жизни в биосфере // Природа. 1925. № 10/12. С. 27.

⁴ Вернадский В. О размножении организмов и его значении в строении биосферы // Изв. АН СССР. Сер. 6. 1926. Т. 20, № 9. С. 721.

Из этих формул вытекает

$$n' = \frac{\lg N_{\max}^1}{\Delta \lg 2}, \quad (10)$$

$$n'' = \frac{\lg N_{\max}^2}{\Delta \lg 2}. \quad (11)$$

Заменяя N_{\max}^1 и N_{\max}^3 другими их значениями (§ 5, 6), получаем

$$n' = \frac{\lg S - \lg k_1}{\Delta \lg 2} = E_1, \quad (12)$$

$$n'' = \frac{\lg S - \lg k_3}{\Delta \lg 2} = E_3. \quad (13)$$

18. Значения ε_1 и ε_3 выражают количества суток, за которые организмы, имеющие постоянную воспроизводимость, равную Δ , могут заселить поверхность планеты, если условия среды это позволяют. Нужно рассматривать мощность воспроизведения как неограниченную (§ 15). Она неизбежно ограничивается только размерами планеты ($\lg S$).

Значения ε_1 и ε_3 чрезвычайно варьируют, однако они должны иметь точные пределы. Эти пределы определяются пределами Δ , k_1 и k_3 – максимальными и минимальными пределами силы воспроизведения, пределами размеров организмов и необходимыми для их жизни ареалами.

Δ (постоянные воспроизведения) варьируют между 64 и 10^{-4} приблизительно (§ 15).

Размеры организмов варьируют между $n \cdot 10^{-5} \text{ см}^1$ (бактерии) и $n \cdot 10^4 \text{ см}^2$ (позвоночные и зеленые растения).

Варьирование ареалов жизни может быть дано только с недостаточной точностью. Возможно, что пределы этого варьирования соответствуют $n \cdot 10^{-8} \text{ см}^2$ (бактерии?) и $n \cdot 10^{11} \text{ см}^2$ (большие млекопитающие?).

19. Эти варьирования Δ , k_1 и k_3 определяют пределы варьирования ε_1 и ε_3 .

На настоящей стадии наших знаний мы можем их определить только для ε_1 . Значения k_3 отсутствуют вообще, и ε_3 может быть определено только для ограниченного числа видов.

Для ε_1 мы наблюдаем:

minimum	1,2	(Vibrio cholerae)
maximum	254 217	(индийский слон)

Для последующих расчетов удобно представить ε в секундах. Тогда имеем для ε_1 :

$1,2 \cdot 86\,400$ приблизительно $1 \cdot 10^5 \text{ с}$,

$254\,217 \cdot 86\,400$ приблизительно $2 \cdot 10^{10} \text{ с}$.

Таким образом, интенсивность геохимической энергии живых организмов такова, что если среда эта позволяла бы, то организмы образуются

¹ n больше чем 5?

² n больше чем 2–3?

вали бы предельные массы вещества M_1 в интервалах времени, равных 10^5 и $2 \cdot 10^{10}$ секундам, и в результате такого образования их соответствующая энергия распространилась бы, в те же промежутки времени, на всей поверхности планеты.

20. Массы M_1 , как мы это видели (§ 5), обязательно непостоянны, и, следовательно, ϵ_1 указывают нам только максимальный размах, пульсацию геохимической энергии жизни в биосфере, которая не может длиться и за которой всегда следует стихийный распад жизни и остановка движения.

Нам не хватает наблюдений, чтобы иметь четкое представление о массах M_3 и о длительности ϵ_3 , необходимой для их образования. Но представляется, что расстояние между максимальными и минимальными величинами значений ϵ_3 того же порядка, что и расстояние, которое существует между значениями – пределами ϵ_3 . Таким образом, у бактерий (*Vibrio cholerae*, живущих в воде) ϵ_3 почти равно ϵ_1 (т.е. приблизительно $1 \cdot 10^6$ с), а у индийского слона ϵ_3 соответствует $1,2 \cdot 10^{10}$ с (вместо $2,1 \cdot 10^{10}$ с у ϵ_1), несмотря на большое различие между k_3 ($= 3 \cdot 10^{11}$ см²) и k_1 ($= 5 \cdot 10^{11}$ см²).

Итак, можно принять во внимание как первое приближение значения ϵ_1 ; определения ϵ_3 только привнесут коррективы в общие черты явления, таким образом полученные.

21. Время ϵ_1 соответствует: 1) образованию массы M_1 и 2) движению на земной поверхности этой массы вследствие ее образования. Сила, которая побуждает это движение, является кинетическим проявлением геохимической энергии вида.

Мы будем использовать это кинетическое проявление так называемой энергии, чтобы выразить эту последнюю количественно для каждого вида.

В течение $\epsilon_1 \cdot 86\,400$ с эта энергия распространится на всей земной поверхности. Остановим наше внимание на некоторой точке A этой поверхности; можно провести через эту точку большой круг. Если кинетическая геохимическая энергия начинала бы проявляться в этой точке, очевидно, что, продолжая свое проявление в этом большом круге земного шара, энергия в течение $\epsilon_1 \cdot 86\,400$ с сделала бы «кругосветное путешествие», вернулась бы в точку A . Среди этих кругов существует единственный, который обладает специальными особенностями. Это круг экватора, который представляет самую большую дистанцию – в одном направлении – некоторого движения на земной поверхности. Эта максимальная дистанция является одной из очень характерных физических особенностей нашей планеты.

По отношению к биохимической энергии экватор указывает на максимальную дистанцию, которую может пройти энергия в результате своей передачи в биосфере. Когда эта дистанция пройдена, геохимическая энергия ϵ_3 обязательно переходит из своей активной формы в свою потенциальную форму. Экватор Земли может нам служить индикатором этой трансформации.

22. Принимая земной экватор в качестве общего масштаба для выражения геохимической энергии всех живых видов, мы получаем средство для их количественного сравнения.

Промежутки времени ϵ_1 , во время которых различные виды должны полностью проявить кинетическую геохимическую энергию, свойственную им, по всей длине экватора, различны и характерны для каждого вида.

Мы можем, очевидно, их выразить как различные *линейные скорости передачи кинетической геохимической энергии* каждого вида, измеряемой на земном экваторе.

Их получают по следующей формуле:

$$v_1 = \frac{D}{86400\varepsilon_1} \text{ см/с.} \quad (14)$$

где D есть длина экватора, равная $40,07572 \cdot 10^8$ см.

Очевидно, что эта скорость, измеряемая таким образом, у всех организмов в одном масштабе, даст нам выражения количественно сравнимые и очень точные, одного и того же свойства кинетической геохимической энергии в своем максимальном выражении, характерном для каждого вида.

Я назову эту скорость, таким образом определяемую, *скоростью передачи жизни*, так как размножение является самым характерным свойством, которое отличает живые существа от неживых веществ биосферы.

23. Эта формула, если в нее ввести выражения для ε_1 (§ 17), может быть представлена в следующем виде:

$$v_1 = \frac{D \lg 2\Delta}{86400(\lg S - \lg k_1)} \text{ см/с.} \quad (15)$$

Заменяя постоянные, независимые от живого вещества, их числовыми значениями, мы получим уравнение в более простой форме:

$$v_1 = \frac{40,07572 \cdot 10^8 \lg 2\Delta}{86400(\lg S - \lg k_1)} = 13962,96 \frac{\Delta}{\lg S - \lg k_1} = T \frac{\Delta}{\lg S - \lg k_1} \text{ см/с,} \quad (16)$$

где S равна площади земной поверхности ($5,10065 \cdot 10^{18}$ см²), Δ и k_1 характеризуют воспроизведение и размеры организма, T является неизменным числом, соответствующим размерам планеты, учитывая дневное обращение земного шара.

24. Формула (16)

$$v_1 = T \frac{\Delta}{\lg S - \lg k_1} \text{ см/с}$$

может служить для многочисленных выводов, которые мне представляются важными.

С биологической точки зрения она нам дает числовые отношения между размерами организма (так k_1 равно r^2 (§ 5) – максимальный размер организма) и интенсивностью его размножения, выраженной Δ . Постоянные, которые входят в это отношение, всегда одни и те же у всех организмов, они являются функцией от неизменных свойств нашей планеты.

Отношения между скоростями передачи жизни у различных организмов – V'_1 и V_1 – являются еще более простыми:

$$\frac{V_1}{V'_1} = \frac{\Delta(\lg S - \lg k'_1)}{\Delta(\lg S - \lg k_1)}. \quad (17)$$

Сюда входит десятичный логарифм земной поверхности, который, как мы это видели, ограничивает размножение организмов, проявление их энергии E_3 (§ 2) в своей активной форме.

25. Очевидно, что аналогичные формулы соответствуют *отношениям между скоростями размножения организмов* в случаях максимальной плотности популяции этих видов. Нужно только заменить k_1 на k_3 :

$$V_3 = T \frac{\Delta}{\lg S - \lg k_3}, \quad (18)$$

$$\frac{V_3}{V'_3} = \frac{\Delta(\lg S - \lg k'_3)}{\Delta'(\lg S - \lg k_3)}. \quad (19)$$

26. Для скоростей V_1 и V_3 получаем различные величины не только у различных видов, но также и у одного и того же вида в изменяющихся условиях его жизни.

Эти скорости должны варьировать в зависимости от варьирования Δ , k_1 и k_3 , которые изменяются у одного и того же вида в соответствии с изменениями условий среды, изменением температуры, пищи, состава биоценоза, действий цивилизованного человека и т.д.

Конечно, эти варьирования не являются большими, однако они очень важны для характеристики вида. Формулы позволяют сравнивать количественно все варьирования, основываясь на V_1 даже в случаях, когда причины, их вызывающие, являются совершенно различными.

Например, величина скорости V_1 изменяется вследствие увеличения или уменьшения Δ или k_1 или обоих факторов в одно и то же время.

Можно различать, следовательно, три случая:

$$\frac{V_1}{V'_1} = \frac{\Delta(\lg S - \lg k'_1)}{\Delta(\lg S - \lg k_1)} = \frac{\lg S - \lg k'_1}{\lg S - \lg k_1} \quad (20)$$

(варьирование размеров организма);

$$\frac{V_1}{V''_1} = \frac{\Delta(\lg S - \lg k_1)}{\Delta'(\lg S - \lg k_1)} = \frac{\Delta}{\Delta'} \quad (21)$$

(варьирование воспроизведения);

$$\frac{V_1}{V'''_1} = \frac{\Delta(\lg S - \lg k'''_1)}{\Delta'''(\lg S - \lg k_1)} \quad (22)$$

(варьирование двух факторов одновременно).

Эти формулы должны иметь значение в многочисленных случаях изменений характеров видов в соответствии с их географическим распределением, или экологическими условиями их существования, или их объединениями в биоценозы.

27. Прежде чем применить эти формулы и понятия, которые они представляют, к многочисленным случаям живой природы и процессам биосферы, было бы, возможно, полезнее остановиться на логической законности этих приемов.

Конечно, во всей нашей предварительной дискуссии мы не вводили гипотезы.

Числа Δ , k_1 и k_3 получены путем наблюдения. Ограничение геохимической энергии живого вещества размерами планеты является также эмпирическим обобщением, логически необходимым.

Но впоследствии мы применим эти формулы не к крайним случаям, полному и завершённому расцвету геохимической энергии на всей земной поверхности, но к случаям обыденной жизни, когда организмы занимают только небольшие части этой планеты.

Применяя их к этим конкретным случаям, мы совершаем допущения, которые еще не обсуждались.

Во-первых, мы допускаем, что ход передачи геохимической энергии на биосферу вследствие воспроизведения организмов является всегда идентичным, совершенно *равномерным*. Это понимается как следствие самого явления воспроизведения, характеристика которого – Δ – остается неизменной и представляет *свойство организма*, тела, всегда автономного в своем механизме по отношению к биосфере. Поскольку Δ не может изменяться спонтанно, этот ход должен обязательно оставаться равномерным в среде, которая не изменяется и которая не влияет на Δ . Очевидно, что равномерность этой передачи энергии будет сохраняться в течение всего процесса. Не наблюдается никакой причины для ускорения или замедления скорости.

Следовательно, мы имеем право применить скорость, определяемую по отношению к конечному результату, на каждой промежуточной стадии процесса.

Скорость должна все время оставаться одинаковой.

28. Но в эволюции ее величины мы сделали второе допущение. Мы допускаем, что размеры Земли реально определяют запас активной геохимической энергии, которая может существовать у каждого вида. Мы допускаем, что этот запас содержится как таковой в механизме живого вещества, соответствующего виду, что именно он определяет его геохимическую мощность даже в случае, когда он не проявляется. Он является для него врожденным, присущим.

В случае энергии размножения этот запас (E_3 – § 2) полностью расходуется, начиная с момента, когда вид покрывает всю земную поверхность. Если бы даже этот случай существовал только лишь в теории и никогда не мог быть осуществлен, распределение этой энергии во время воспроизведения должно было бы быть равномерным на всей земной поверхности.

Иначе ход этой энергии путем воспроизведения не был бы равномерным (§ 2).

Можно, следовательно, считать, что эта энергия является – у каждого вида – пропорциональной участку его заселения и части земной поверхности, которую этот участок занимает.

Конечно, всегда нужно рассматривать пограничные случаи, полное проявление этой энергии, самое плотное заселение (один организм на k_1 см² или k_3 см²).

29. Эта идея реального существования геохимической энергии, определяемой размерами планеты (в формулах постоянными T и $\lg S$), не представляется нам привычной и требует, конечно, эмпирического подтверждения. Я надеюсь доказать в продолжении этих этюдов, что эта эмпирическая база действительно существует¹.

¹ Вернадский В. О размножении организмов и его значении в строении биосферы. Изв. АН СССР. Сер. 6. Т. 20, № 9. С. 722.

В этом убедимся, рассматривая максимальные и минимальные пределы, которые даются путем наблюдения V_1 и V_3 .

Ясно, что такие пределы должны обязательно существовать, потому что они существуют у Δ , k_1 и k_3 (§ 18).

Так же как и эти последние, скорость V , как это видно из ее определения (§ 22), относится к одному индивиду. Она указывает скорость передачи на земной поверхности геохимической энергии E_3 , относящейся к индивиду; она указывает сантиметры, которые эта энергия пробегает во время своего полного проявления за одну секунду.

30. Максимальные скорости V_1 близки к 33 000 см/с (бактерии, такие, как *Vibrio cholerae*); минимальные скорости близки к 10^{-1} см/с (индийский слон). Таким образом, отношение между крайними скоростями передачи геохимической энергии различных организмов в биосфере близко к отношению 1:330 000.

Полученные максимальные скорости чрезвычайно близки к скорости звуковых волн в газовых массах (в воздухе).

Очень мало вероятно, что такое совпадение является случайным, учитывая значение, которое имеет газовый обмен в жизни организмов, и не меньшее значение, которое представляют организмы для газового обмена в биосфере.

В следующем обзоре мы увидим, что это действительно не является совпадением. Это – следствие газового обмена организмов, их дыхания. Другие следствия, которые мне представляются важными, могут быть выведены из анализа газового обмена организмов при условии, что учитывают скорости передачи жизни.

31. Скорость передачи жизни позволяет нам выразить собственно геохимическую энергию живого вида в ее кинетической форме.

Это линейная скорость, и можно применить по отношению к ней все законы механики.

Геохимическая кинетическая энергия E одного индивида будет, следовательно, представлена в следующих выражениях:

$$E_1 = \frac{pv_1^2}{2}, \quad (23)$$

$$E_3 = \frac{pv_3^2}{2}, \quad (24)$$

где p есть средний вес индивида.

Вся кинетическая геохимическая энергия совокупности таких организмов, которые могут существовать на земной поверхности, т.е. E_1 и E_3 вида, выражена формулами

$$E_1 = \frac{m_1 v_1^2}{2}, \quad (25)$$

$$E_3 = \frac{m_3 v_3^2}{2}. \quad (26)$$

Я вернусь в продолжении этих этюдов к последствиям, которые вытекают из выведенных формул.

II. О НАИБОЛЬШЕЙ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЖИЗНИ В БИОСФЕРЕ*

Представлено в Академию наук 22 сентября 1926 г.

32. Изучение геохимической энергии самых маленьких организмов – бактерий, таких, как *Vibrio cholerae* (§ 30), доказало нам, что величины скорости V (§ 22) (скорость передачи жизни) у них были близки 33 000 см/с, т.е. близки к скорости звуковых волн в воздухе.

Можно убедиться, что это не является случайным совпадением. Максимальная скорость V (в случае полного расцвета жизни) никогда не может превзойти скорость звуковых волн в атмосфере – среде дыхания; она может быть только близкой к этой скорости.

33. В случаях с бактериями речь идет о размножении организмов, размеры которых соответствуют 10^{-4} – 10^{-5} см.

Частицы этих размеров обязательно принадлежат полю молекулярных сил. Броуновское движение, которым наделены бактерии, является очевидным выражением этого.

Может быть, было бы полезно в соответствии с этим фактом подчеркнуть здесь несколько других аналогичных фактов.

Существует глубокое различие между физическими свойствами этих мельчайших организмов и свойствами организмов больших размеров. Всегда нужно учитывать это. Мельчайшие организмы не только подчиняются броуновскому движению, но они всегда остаются обязательно (в условиях среды их обитания) вне действия закона всемирного тяготения. Различные излучения, которые всегда заполняют среду их жизни, определяют их положение и их движения.

Известно¹, что частицы, диаметр которых равен $3 \cdot 10^{-5}$ см и плотность равна плотности Земли ($5,5 \text{ г/см}^3$), могут быть перенесены лучом света в направлении, противоположном действию силы тяготения. И именно излучение, а не сила тяготения определяет их положение и движение. Но, поскольку плотность бактерий близка плотности воды, пертурбационное действие излучений должно проявляться еще более четко. Можно даже видеть в броуновском движении² специальный случай этого явления.

Кроме того, должны существовать специфические отношения между газообразной средой и организмами (частицами) указанных размеров, отношения, которые отличают бактерии от организмов больших размеров. Размеры бактерий имеют ту же величину, что и длина свободного пробега молекул газа. Этот средний пробег для азота, например, равен 10^{-5} см (при температуре 0°C и давлении 760 мм)³.

* Вторая часть «Биогеохимических этюдов» опубликована на французском языке в: Изв. АН СССР. Сер. 6. 1927. Т. 21, № 3/4. С. 241–254. Перевод Е.В. Соловьевой. На русском языке публикуется впервые.

¹ См.: *Ollivier H. Cours de physique générale*, II. P., 1922. P. 225.

² Броуновское движение объясняется главным образом действием неравномерных и беспрепятственных движений молекул воды на движущуюся частицу; считается, что оно представляет собой результат столкновения этих молекул. Это чистая гипотеза. Можно было бы с тем же правом рассматривать это движение как проявления излучений молекул.

³ *Ollivier H. Op. cit.* P. 168.

Часто совершается логическая ошибка, когда не принимается во внимание это первостепенное различие между бактериями и другими организмами больших размеров при обсуждении биологических явлений, которые происходят в газообразных средах.

Бактерии входят в молекулярное поле газообразных частиц, другие видимые организмы остаются все время за пределами этого поля.

34. Значение указанного отличия предстает еще большим, когда эти мельчайшие организмы осуществляют интенсивный газовый обмен с газообразной средой или с газами, растворенными в жидкой среде. Различие между размерами молекул газа (10^{-7} см) и размерами мельчайших организмов (10^{-4} – 10^{-5} см и даже 10^{-6} см) не является огромным, т.е. эти тела имеют размеры одного порядка.

Несомненно, что обмен, который осуществляется между телами таких близких размеров, должен отличаться от газового обмена – дыхания – организмов больших размеров. Эти последние принадлежат нашему полю тяготения, и их жизнь регулируется в первую очередь силой тяготения. Бактерии живут в поле молекулярных явлений – самом поле газовых молекул. Их жизнь регулируется невидимыми многочисленными излучениями, которые уравнивают всегда или часто действие силы тяготения.

Отношения между бактериями и молекулами газов определяются параметрами молекулярных полей.

35. Известно (и это – распространенное эмпирическое обобщение), что газовый обмен тем интенсивнее, чем быстрее размножение организмов.

Из этого вытекает, во-первых, то, что газовый обмен организмов диаметром 10^{-5} см является более интенсивным, чем газовый обмен организмов размером 10^{-4} см и т.д. (§ 16), и, во-вторых, то, что этот обмен должен быть пропорционален геохимической энергии организмов, размножение которых является одним из ее проявлений (§ 6).

Таким образом, должны существовать отношения не только между свойствами молекул газа и размерами организмов, но также между этими свойствами и геохимической энергией организмов.

36. Дыхание – газовый обмен – бактерий имеет место в очень различных газовых средах – в среде N_2-O_2 у аэробных бактерий и в среде N_2 (может быть, N_2-O_2) у анаэробных бактерий.

Все указывает, что явления размножения и дыхания, а следовательно, и геохимическая энергия анаэробных бактерий подчиняются тем же законам, что и соответствующие явления у наиболее известных аэробных бактерий¹.

37. На настоящей стадии развития науки невозможно сделать сколь угодно полный анализ явлений дыхания бактерий. Однако существующие данные достаточны для специальной проблемы, которая нас интересует.

¹ Ультравirusы – бактериофаги Ф. д'Эрелля – должны быть подчинены тем же законам. По мнению Ж. Бронфенбренера (*Sciens. W.*, 1926. P. 52), бактериофаги – и течение их жизни в растворах – не указывают на существование газового обмена. Это совершенно соответствует условиям, наблюдаемым д'Эреллем: «растворы» бактериофагов содержат их в состоянии спор – скрытой жизни. Их размножение и, следовательно, их газовый обмен имеют место только лишь внутри бактерий (*F. d'Herelle Le bacteriophage et son comportement. 2 ed. P.*, 1926. P.P. 90, 298, 375).

Можно различить два случая дыхания (газового обмена) – дыхание в газовой среде и дыхание в жидкости (или в коллоидном псевдорастворе). В этом последнем случае, очень часто встречающемся у бактерий, обмен происходит между растворившимися газовыми молекулами (или находящимися в гелях) и бактериями.

Остановимся на первом случае.

38. Представляется, что бактерии впитывают в акте дыхания без различия оба газа, в случае аэробных организмов – азот и кислород. Их разделение осуществляется позже внутри организмов.

Каким бы ни был механизм дыхания, живой организм всегда играет в однородной газовой среде роль центра изменения. Следовательно, он вызывает в этой среде звуковую волну, амплитуда которой очень мала, но скорость которой равна скорости обычных звуковых волн.

39. Амплитуда этой волны может изменяться пропорционально энергии дыхания, но ее скорость остается все время неизменной, так как эта скорость зависит только от внутренней энергии газовой среды; она является функцией от эластичности и плотности газа и от внутренних движений его молекул.

Те же самые движения газовых молекул регулируют газовый обмен в акте дыхания и определяют также его предел. В зависимости от этого факта дыхание никогда не может порождать явления, скорость которых превышала бы в этой газовой среде ее внутреннюю энергию, т.е. скорость ее звуковых волн.

Итак, воспроизводство организмов – функция дыхания – не может превысить скорость передачи в этой газовой среде геохимической энергии, последняя же не может превосходить скорость звуковых волн среды.

Это несомненно, так как в противном случае дыхание не представляло бы длительного явления динамического равновесия и вызывало бы глубокое изменение среды, ее разрушение и стабильное изменение ее однородности.

Факты не доказывают ничего подобного.

40. В этом факте можно видеть выражение очень общего принципа, который, как мне кажется, не привлекает заслуженного внимания. Его можно назвать *принципом предельных скоростей* и дать ему следующую формулировку:

Все явления, которые распространяются в какой-либо среде, являются с ней генетически связанными и не разрушают ее посредством своих проявлений, никогда не могут превзойти характерную для этой среды скорость, скорость внутренних вибраций, вызванных временным нарушением однородности среды, произведенным этими явлениями.

41. Проявление этого принципа можно видеть в том факте, что скорость света является максимальной скоростью для всех изученных в точных науках явлений, происходящих в материальном мире или в допускаемом некоторыми учеными эфире. Существование такого предела не вызывает сегодня сомнений.

Мы всегда можем выразить распространение света и явлений, которые проявляются в той же среде, в символах механики с точностью, какую нам позволяет наблюдение.

Существование или несуществование специальной формы среды распространения нам безразлично. В рамках таких явлений эфир может представлять собой реальную субстанцию или модель нашего рассуждения.

Такое состояние вещей может продолжаться, пока наблюдаемые факты этому не противоречат.

Нам достаточно иметь уверенность в том, что допущение существования эфира прекрасно соответствует наблюдаемым фактам. Наблюдение нам доказывает, что в научной концепции Мира никакое физико-химическое явление не превосходит скорость света. Это максимальная скорость, которую мы можем наблюдать в физико-химических и астрономических науках.

Нам ясно, что среда эфира – самим фактом существования этой предельной скорости – глубоко отличается от среды материи.

42. В случае с явлениями, которые распространяются в средах более грубой структуры – среде материи, скорость никогда не достигает скорости света, но она также имеет определенный предел, отличный и специфический для каждой материальной среды. Этот предел определяется скоростью звуковых волн в данной среде в условиях эксперимента. Эта скорость должна рассматриваться как проявление свойственной среде энергии. Ее нельзя превзойти, кроме случаев, когда изучаемые явления разрушают или искажают саму среду.

Следовательно, никакое явление, которое распространяется в атмосфере при указанных условиях, не может превзойти скорость звуковых волн в атмосфере.

43. *Из этого следует, что скорости передачи жизни в воздушной среде никогда не могут превзойти скорость звуковых волн в этой среде.* Это непреодолимый предел, пока воздушная среда остается невредимой. Однако скорости передачи жизни могут бесконечно варьировать ниже этой предельной скорости звуковых волн. Но их максимальные значения должны быть близки к этому пределу.

44. Воздушная жизнь бактерий является очень специфическим случаем их существования – это главным образом организмы, которые обитают в жидкостях.

Можно убедиться, что в этом случае пределы скорости распространения жизни остаются теми же: это скорость звуковых волн газовой среды дыхания, а не скорость звука в водяных или жидких органических средах обитания бактерий, которая должна быть принята во внимание.

45. Воспроизведение организмов и, следовательно, скорость передачи жизни есть всегда функция газового обмена. И именно только газовая среда должна в первую очередь быть принята во внимание при обсуждении этой проблемы. Эта газовая среда образуется газами, растворенными в воде и органических жидкостях. Она используется организмами в механизме их дыхания.

Растворы газов в жидкостях являются, по существу, смесями. Можно всегда рассматривать газовое тело как независимое от его растворителя, так как это тело находится всегда в самой близкой связи с прилегающей чисто газовой средой. Растворенные в воде газы могут рассматриваться для всех ее обитателей как часть и продолжение газовой атмосферы за пределами воды. Газ проникает в жидкость, почти ее не изменяя, и там сохраняет все свои свойства. Он обладает давлением и следует всегда внутренним движениям газовых масс, с которыми он связан за пределами жидкости, в которой он «растворен».

46. Конечно, для наших чувств, когда мы изучаем явления более грубые, например звуки, достигающие нашего уха, и которые распространяются в

водном растворе, содержащем газы, эти растворенные газы образуют, как нам кажется, нераздельное целое с водным растворителем, в котором они находятся.

Но эти же самые газы и звуковые вибрации их молекул должны иметь совершенно иное значение, когда их изучают по отношению к маленьким организованным телам, наделенным броуновским движением¹. Эти мельчайшие организмы все время участвуют в интенсивном обмене с молекулами, которые составляют растворенный газ; они абсорбируют молекулы и атомы и выделяют их. Бактерии могут рассматриваться как образующие единое целое с этими молекулами, целое, аналогичное тому, которое те же самые молекулы растворенного газа образуют с молекулами окружающей атмосферы за пределами воды.

В обоих случаях большие молекулярные комплексы жидкой воды остаются за пределами внутреннего движения, которое образуется вследствие дыхания бактерий в растворенном газе.

Маленькие размеры бактерий (10^{-4} – 10^{-5} см) позволяют рассматривать акт их дыхания как независимый от жидкой среды их обитания. Между тем нигде в жидкости не видно разрушающего действия *бактерий*, которые там находятся; броуновское движение указывает на обратное действие движений молекулярных комплексов воды на бактерии.

Разрушительное действие мельчайших организмов во время дыхания нужно искать в другом месте.

47. Его нужно искать во *внутренней газовой атмосфере*, которая пронизывает воду.

Бактерии своим дыханием производят там толчки, проявление которых нужно искать в вибрациях этой атмосферы, в звуковых волнах, которые получаются в результате этого факта, в волнах, незаметных для наших органов чувств из-за очень маленькой амплитуды.

Мы наблюдаем здесь явление, аналогичное действию внешней атмосферы на совокупность растворенных газовых молекул, явление, аналогичное существованию частичного давления этой совокупности.

Такие явления не приводят значительно в беспорядок жидкость, содержащую газы.

48. Их существование может быть доказано изучением явлений другого порядка. Их отзвук можно видеть в проявлениях геохимической энергии бактерий, так как скорость этих звуковых «молекулярных» волн, скорость вибрации внутренней атмосферы растворов, должна определять максимальную скорость передачи жизни водных организмов.

Она обязательно отличается от скорости волн в газовых средах.

Если взять 33 100 см/с для скорости звуковых волн в воздухе при давлении 760 мм и температуре 0 °С, скорость этих волн была бы для газов пресной воды 32 827 см/с и для газов соленой воды (15%) 32 808 см/с.

¹ Представляется, что броуновские движения тончайших пылевых частиц и живых частиц ничем не отличаются. Живые частицы находятся, однако, в непрекращающемся обмене с газовыми молекулами, которые пронизывают жидкость – мать броуновского движения. Этот факт мог бы указать на то, что газовый обмен бактерий представляет собой явление совсем другого порядка, чем движение молекул жидкостей, независящее от него.

Жизненный оптимум для бактерий соответствует температуре гораздо более высокой, чем $0\text{ }^{\circ}\text{C}$: бактерии существуют, но плохо размножаются при этой температуре. Предел скорости передачи их жизни обязательно намного превосходит $3208\text{--}33\ 100\text{ см/с}$. Он будет, например, равен, при $21\text{ }^{\circ}\text{C}$, примерно $34320\text{--}34018\text{ см/с}$.

49. Нет ничего, таким образом, удивительного в том, что максимальная скорость передачи жизни у этих мельчайших организмов (у которых она достигает самой абсолютной максимальной величины, которая может быть допустимой у организмов, живущих в какой-нибудь среде, не разрушая ее) близка к скорости звуковых волн в газовой среде их дыхания¹.

Из этого вытекает факт гораздо более важный. Такое совпадение указывает на то, что скорость v бактерий действительно достигает абсолютного максимального предела. Иными словами, *воспроизведение организмов и геохимической энергии реально достигают в биосфере их максимальной величины*.

Жизнь достигает, таким образом, в биосфере своего максимального проявления².

50. И только мельчайшие организмы – простейшие выражают эту особенность жизни. Между тем среди простейших организмов самые мельчайшие – микробы дают нам самые великолепные примеры такого проявления.

Достоверно, что скорость передачи жизни V достигает десятков тысяч сантиметров в секунду у бактерий и, может быть, у некоторых грибов. Возможно, что некоторые водоросли, такие, как сине-зеленые, имеют такую же особенность.

Все другие типы и классы простейших организмов – корненожки, инфузории, жгутиконосцы, одноклеточные водоросли и т.д. – далеки от достижения такой силы воспроизведения и не могут, следовательно, оказывать в такой степени влияние на миграцию химических элементов в биосфере.

Их скорость V не превышает, вероятно, $1000\text{--}3000\text{ см/с}$. Это всегда организмы очень большие по сравнению с бактериями или дрожжами. Очевидно, что существует определенное отношение между геохимической энергией организма и его размерами. Энергия тем больше, чем меньше размеры организма.

Числовые отношения между ними выражены формулами, представленными в § 23.

51. Остановимся на нескольких конкретных случаях. К сожалению, биологи редко приводят числовые данные, необходимые для расчета k_1 , k_3 , V , Δ (§ 5, 6, 15, 22).

Как исключение, с достаточной точностью был изучен М. Вордом³ *Bacillus ramosus*, встречающийся в водах Темзы.

¹ Эта скорость может достигать большего значения у организмов, которые, размножаясь, разрушают этим свою среду обитания, например у бактериофагов.

² Вернадский В. Биосфера. Л.: Науч. хим.-техн. изд-во, 1926. С. 30 и сл.

³ Ward M. Proceedings of R. Soc., 58. L., 1895. P. 265 sg. Encyclop. Britann. 11th ed. 3. L., 1910. P. 156.

По его наблюдениям¹, у этих бактерий:

Размеры максимальные	$(6 \cdot 10^{-4}) - (1,75 \cdot 10^{-4})$ см
минимальные	$(3 \cdot 10^{-4}) - (1,75 \cdot 10^{-4})$ см
Оптимальная температура воспроизведения	25–28 °C
Минимальная температура воспроизведения ² приблизительно	8,5 °C.
Средняя длительность деления клетки:	
при 8,5 °C	21 600–24 000 с
при 28–30 °C	1800–2100 с
Минимальная длительность такого деления	1620 с

Можно вывести из этих экспериментальных данных:

Δ max	53,333 ³
Δ opt	48–41,14 ⁴
Δ min	4–3,60 ⁵
k_1 max	$3,6 \cdot 10^{-7}$ см ² 6
k_1 min	$9 \cdot 10^{-8}$ см ² 7.

Используя формулу (15) или (16) § 23, например выражение

$$v_1 = 13\,962,96 \frac{\Delta}{\lg S - \lg k_1} \text{ см/с,}$$

и подставляя числовые данные Δ и k_1 ($\lg S = 18,70762$), получаем для V_1 следующие значения:

$$V_1 = \frac{13962,96 \cdot 53,333}{18,70762 - \lg(9 \cdot 10^{-8})} = 28\,960 \text{ см/с, } \Delta = 53,333; k_1 = 9 \cdot 10^{-8};$$

$$V_1 = \frac{13962,96 \cdot 53,333}{18,70762 - \lg(3,6 \cdot 10^{-7})} = 29\,609 \text{ см/с, } \Delta = 53,333; k_1 = 3,6 \cdot 10^{-7};$$

$$V_1 = \frac{13962,96 \cdot 48}{18,70762 - \lg(9 \cdot 10^{-8})} = 26\,022 \text{ см/с, } \Delta = 48; k_1 = 9 \cdot 10^{-8};$$

$$V_1 = \frac{13962,96 \cdot 41,14}{18,70762 - \lg(3,6 \cdot 10^{-7})} = 26\,648 \text{ см/с, } \Delta = 41,14; k_1 = 3,6 \cdot 10^{-7};$$

$$V_1 = \frac{13962,96 \cdot 48}{18,70762 - \lg(3,6 \cdot 10^{-7})} = 22\,839 \text{ см/с, } \Delta = 48; k_1 = 3,6 \cdot 10^{-7};$$

$$V_1 = \frac{13962,96 \cdot 41,14}{18,70762 - \lg(9 \cdot 10^{-8})} = 22\,305 \text{ см/с, } \Delta = 41,14; k_1 = 9 \cdot 10^{-8};$$

¹ Ward M. 1. С. 1895. Р. 271, 458 Sg.

² «Интересно отметить, что 8,5 °C, как правило, не минимальная температура, хотя и приближается к ней» (Ward M. 1. С. 1895. Р. 458).

³ $\Delta = 86\,400/1620 = 53,333$ (см. § 15).

⁴ Аналогично $\Delta = 86\,400/1800 = 48$; $\Delta = 86\,400/2100 = 41,14$.

⁵ $\Delta = 86\,400/21\,600 = 4$; $\Delta = 86\,400/24\,000 = 3,6$.

⁶ $k_1 = (6 \cdot 10^{-4})^2 = 3,6 \cdot 10^{-7}$ (см. § 5, ф. 3).

⁷ Аналогично $k_1 = (3 \cdot 10^{-4})^2 = 9 \cdot 10^{-8}$.

$$V_1 = \frac{13962,96 \cdot 4}{18,70762 - \lg(9 \cdot 10^{-8})} = 2169 \text{ см/с}, \Delta = 4; k_1 = 9 \cdot 10^{-8};$$

$$V_1 = \frac{13962,96 \cdot 4}{18,70762 - \lg(3,6 \cdot 10^{-7})} = 2221 \text{ см/с}, \Delta = 4; k_1 = 3,6 \cdot 10^{-7};$$

$$V_1 = \frac{13962,96 \cdot 3,6}{18,70762 - \lg(9 \cdot 10^{-8})} = 1953 \text{ см/с}, \Delta = 3,6; k_1 = 9 \cdot 10^{-8};$$

$$V_1 = \frac{13962,96 \cdot 3,6}{18,70762 - \lg(3,6 \cdot 10^{-7})} = 1999 \text{ см/с}, \Delta = 4; k_1 = 3,6 \cdot 10^{-8}.$$

Таким, образом, скорость передачи жизни в *Bacillus ramosus* в оптимальных условиях жизни не достигает 27 000 см/с и не может, вероятно, значительно превзойти 29 500 см/с. Вообще, амплитуда величин геохимической энергии этой бактерии изменяется в 11–12 раз в соответствии с условиями жизни, и значение v_1 не падает значительно ниже чем 2000 см/с даже в наименее благоприятных для организма условиях.

Можно взять в первом приближении¹ у *Bacillus ramosus* следующие значения $V_{1 \text{ optim}}$ 4465 в см/с.

Отношение $V_{1 \text{ minim}}$ равно 21,26 см/с.

Рассчитанное значение $V_{1 \text{ max}}$ может относиться, очевидно, к индивидуальным отклонениям, которые, конечно, не могут иметь то же значение, что и средние величины, которые и должны нас интересовать при изучении этого явления. Эти индивидуальные отклонения могут дать величины v_1 , которые превышают скорость звуковых волн среды. Размножение организмов подчиняется закону инерции (§ 16), т.е. оно прекращается в своем функционировании только лишь в результате сопротивления, которое ему оказывает среда; это сопротивление определяет предел скорости v (т.е. интенсивность воспроизведения) только для совокупности организмов.

Итак, только у этой совокупности движение геохимической энергии на поверхности нашего земного шара, определяемое размножением организованных существ, не может превзойти скорость звуковых волн среды дыхания. Индивидуальные отклонения могут быть более значительными.

Они не являются таковыми, как это кажется, у *Bacillus ramosus*, но будем их наблюдать, возможно, у *Vibrio cholerae* (§ 52).

52. Кажется, что все или большинство бактерий могут достигать интенсивности жизни, которая сообщила бы скорость ее передачи биосфере (величина v), близкой скорости передачи звуковых волн в атмосфере дыхания. Эта скорость в оптимальных условиях может всегда превосходить 30 000 см/с. Среди всех организмов только бактерии обладают такой особенностью.

¹ Во всех этих расчетах нужно принимать во внимание, что наблюдения – впрочем, очень тщательно обработанные – М. Ворда были сделаны с целью, совершенно отличной от цели изучения воспроизведения этого организма. Таким образом, он не интересовался изменением размеров организма по отношению к интенсивности размножения делением индивидуумов и не приводил нигде средних величин. Следовательно, мы можем иметь только максимальные и минимальные пределы величин V_1 . Возможно – и это вероятно, например, для инфузорий, – что температура оказывает влияние не только на Δ , но также и на k_1 .

Вот несколько примеров.

1. *Bacterium coli communis*¹

$\Delta = 61,27$ (Heherwerth);

$k_1 = 4 \cdot 10^{-8} - 6 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2$ (Mace, 1895);

$t_{\text{opt}} = 37 \text{ }^\circ\text{C}$; (Heherwerth) $v_1 = 32\,770,8 \text{ см/с}$; $v_1 = 32\,994,6 \text{ см/с}$.

Другие определения:

$\Delta = 65,45$ (Buchner, 1888); $v_1 = 35\,007,7 \text{ см/с}$; $\Delta = 72,4 - 69,1$ (M. Barber)²;

$v_1 = 35\,215,0 \text{ см/с}$.

2. *Bacterium typhi* (*Bacillus typhosus*)³

$t_{\text{opt}} = 37 \text{ }^\circ\text{C}$ (Heherwerth);

$\Delta = 49,655$ (Heherwerth, 1901; Müller, 1895);

$k_1 = 4 \cdot 10^{-8} - 6 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2$ (Mace, 1895);

$V_1 = 26\,740,0 \text{ см/с}$, $U_1 = 26\,558,8 \text{ см/с}$.

3. *Vibrio cholerae asiaticus* (*Spirillum cholerae*)⁴

$t_{\text{opt}} = ?$; $k_1 = 4 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2$ (В. Омелянский, 1924);

$\Delta = 72$; $k_2 = (3 \cdot 10^{-8}) - (6 \cdot 10^{-8}) \text{ см}^2$ (Mace, 1895).

Г. Бюхнер (1887) и его помощники указывают пределы, которые они наблюдали, длительности образования генерации *Vibrio*, как изменяющиеся между 19,3 и 40 минутами. Бюхнер думал, что было невозможно вычислить среднюю длительность 40 минутами. Бюхнер думал, что было невозможно вычислить среднюю длительность. Но он предполагал, что она скорее ближе к 19,3, чем к 40 минутам. Часто указывается на 20 минут в качестве этой длительности ($\Delta = 72,0$). Представляется, однако, что она должна быть немного выше.

Таким образом, при $\Delta = 72,0$ (генерация в течение 20 минут) и $\Delta = 74,61$ (генерация в течение 19,3 минуты), принимая во внимание минимальные размеры бактерии ($k_1 = 3 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2$), получаем⁵ $v_1 = 36\,920 \text{ см/с}$, $v_2 = 38\,259 \text{ см/с}$.

Может быть, нужно рассматривать эти большие скорости как индивидуальные отклонения.

Но, учитывая большую интенсивность размножения этой бактерии, можно думать, что она способна достигать – у совокупности ее индивидов – максимального проявления размножения, и, следовательно, среднее достигнет у нее величины, близкой к $34\,000 \text{ см/с}$ (§ 48).

Тогда находим у *Vibrio cholerae* $\Delta = 63,14$; следовательно, интервал между двумя генерациями будет равен 22,8 минуты.

Это число находится в точном соответствии с наблюдениями Бюхнера и может быть – без противоречия с принципами механики – взято за среднюю

¹ Heherwerth F. Archiv f. Hyg. 39. M. 19Pi, p. 352 Sg. 9 Mace. Diction. de. physiol., p. 1. P. 1895, p. 1035; Baber M. Journal of infect. diseases, N 5, 1908, p. 379.

² Бабер Г., который наблюдал индивидуальные отклонения, равные 17 минутам ($\Delta = 80,4$), не приводит размеров таким образом образованных бактерий. Можно предположить, что такие индивиды *Vacillus coli* должны быть очень маленькими. Принимая их длину за $5 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ ($k_1 = 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2$), V_1 будет соответственно 353 331 и 37 010 см/с.

³ Mace, l.c. 1895; Heherwerth F., l.c. 1901; Barber M., l.c. 1908; Müller M. // Zeitschr. f. Hyg. 20. L., 1895. P. 263 Sg.

⁴ Buchner H., Longard K. et Reidlin G. Centralle. f. Bacter. 2. J. 1887; Mace, l.c. 1. 1895, p. 10359; Омелянский В. Учебник микробиологии. 4-е изд. Л., 1924.

⁵ Вообще индивиды тем меньше, чем быстрее размножение.

продолжительность образования генерации у совокупности индивидов этой бактерии. Числа, полученные Барбером для *Bacterium coli*, – 18,5 и 20,84, в сущности, того же порядка.

Это в то же самое время есть до сих пор констатируемая средняя минимальная длительность деления размножения клетки делением, длительность между двумя последующими генерациями одного организма¹.

Бактерии – это единственные организмы, скорость передачи жизни которых достигает предельной величины². У дрожжей – *Saccharomyces cerevisiae* – наблюдаемая максимальная Δ равна $24,0^3$ – продолжительность генезиса одного поколения равна здесь 60 минутам и v_1 не превышает 2000 см/с.

53. Во всех этих расчетах мы принимали во внимание только максимальную плотность популяции организмов, определяемую их размерами (значение k_1 – § 5). Однако реальная плотность популяции зависит от очень сложных условий жизни организованных существ и вообще гораздо меньше (понятие k_3 – § 6). Тем не менее величина v_3 , как кажется, вообще того же порядка, что и величина V_1 (§ 20). Мы можем, следовательно, пренебречь в этой части нашего исследования различием между v_1 и v_3 , тем более что у бактерий коэффициент k_3 всегда равен k_1 или близок к нему.

Впоследствии я вернусь к обсуждению v_3 и k_3 .

54. Организмы, достигающие максимальной величины V_1 , являются самыми маленькими из известных нам. Итак, ясно, что в формуле (16)

$$v_1 = \frac{13962,96 \cdot \Delta}{18,70762 - \lg k_1},$$

если v_1 имеет предел, который не может быть превышен, должны также существовать пределы для Δ и для k_1 .

Можно определить минимальный предел k_1 независимым от v_1 способом. Мы увидим тогда, что такое определение нас приводит к тем же значениям минимального k_1 , что и те, которые вытекают из формулы (16).

Это определение основывается на исследовании беспрерывного обмена между молекулами газа и мельчайшими организмами⁴.

55. Размеры газовых молекул известны нам сегодня с достаточной точностью⁵.

¹ «Большая величина этого числа несомненна, и непонятно, почему она еще точно не определена. Это минимальная длительность, необходимая для образования механизма клетки и ее составляющих. В кратких руководствах по бактериологии обычно для этой длительности указывается 17 минут (см. Barber – § 52).

² «Бактериофаги, невидимые, гораздо меньше, чем бактерии, организмы (их размеры порядка $(2-3) \cdot 10^{-6}$ см), существование которых мне представляется реальным, характеризуются более интенсивным размножением. Их Δ , как кажется, варьирует между 75 и 111,4 (по мнению д'Эрелля, 15–20 индивидов от одной бактерии в час или час с четвертью), и, как следствие, их V_1 должна иметь значения, восходящие к 51 670–52 280 см/с. Но такое размножение является кратковременным. Бактериофаг воспроизводится только внутри бактерии, которую он уничтожает, и переходит к состоянию спор. В таком случае – случае взрыва – скорость V может намного превосходить скорость звуковых волн среды.

³ Slator, 1919.

⁴ Вернадский В. Биосфера. Л.: Науч. хим.-техн. изд-во, 1926. 146 с.

⁵ Когда я говорю здесь и в другом месте о размерах молекул или атомов, несомненно, что эти размеры соответствуют не диаметрам материальных частиц, которые входят в системы атомов и молекул, а размерам поля действия этих частиц – размерам части пространства, захваченного силами, свойственными молекулам или атомам.

Эти размеры имеют порядок нескольких единиц 10^{-7} см, и поле, которое им соответствует, имеет порядок 10^{-13} – 10^{-14} см². Этот порядок четко отличается от порядка размеров (10^{-8} см) и поля существования (10^{-15} – 10^{-16} см²) атомов.

Мельчайшие организмы, какие мы знаем, имеют размеры порядка 10^{-5} см ($k_1 = 10^{-9}$ – 10^{-10} см²). Очевидно, что размеры организма не могут достигать порядка 10^{-7} см. Но они могут опускаться до 10^{-6} см ($k_1 = 10^{-11}$ – 10^{-12} см²).

Это были бы уже невидимые организмы, так же как и организмы размерами ниже $5 \cdot 10^{-5}$ см (диаметром), – таковы ультравирусы, в частности бактериофаги.

Обсуждение этого предела k_1 , который находится между 10^{-10} и 10^{-11} см², нас приводит к любопытным заключениям по отношению к величинам Δ и V_1 .

О ПРОДЕЛАННОЙ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИЕЙ РАБОТЕ ПО АНАЛИЗУ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА*

Для начала оборудования Биогеохимической лаборатории и ведения текущей работы в настоящее время отпущено 1915 руб.; из них 940 руб. на покупку платины и 975 руб. на необходимейшее лабораторное оборудование, позволившее нам сейчас уже вести нашу работу по анализу живого вещества. Для того чтобы иметь возможность довести в текущем году работу до конца, учитывая все то, что мы получаем из различных источников, нам нужно иметь в ближайшее время, в период до 1 октября сего года, еще около 4500 руб.

В текущем году выдвинута работа в четырех направлениях:

1) Изучение характера химических элементов живого вещества в связи с изотопией. С этой целью сейчас извлекаются из различных организмов К, Са, Si, S, Mg, Fe, Zn и Cu и ищутся организмы, богатые Rb. Помимо того, в Радиевом институте строится прибор для определения веса изотопов.

2) Изучение методики определения веса организмов. Составлена предварительная программа для определения веса, которая поступила в настоящее время на обсуждение натуралистов. Работа по методике определения веса сосредоточивается в Петергофе.

3) В текущем году по определенной программе и определенными методами должны быть закончены от 15 до 20 полных химических элементарных анализов различных организмов – от разнообразнейших групп и видов животного и растительного царств. Будут анализированы близкие виды одного рода; виды из разных местностей и т.д. К концу года, таким образом, будут впервые получены полные химические анализы живых организмов и, может быть, удастся выявить, насколько состав является видовым признаком. Определяются С, N, H, S, P, Fe, Al, Mg, Са, К, Na, Ti, Si, Cl, Mn. Для определения O₂ придется выработать новый метод, а пока возьмется O₂ по разности. В случае благоприятных обстоятельств будут определены S, Fe, Br, Cu, Zn. Выяснилось, что методов консервирования живого вещества, которые бы

* Приложение к протоколу IV заседания ОФМ Академии наук СССР от 23 февраля 1927 г. Печатается по: Изв. АН СССР. Сер. 6. 1927. Т. 21, № 18. С. 1589–1591.

в дальнейшем допускали анализ на С, N, H и т.д., не существует. Поэтому придется ставить органический элементарный анализ на месте сбора (Петергоф).

4) Сбор материала (золы организмов) для определения радиоактивности путем нахождения в организмах Uг и Rd и, может быть, Th.

При этом ставится задача выяснить, есть ли концентрации этих элементов в живом веществе сравнительно с содержанием их в воде и почве.

В связи с этим главная работа в текущем периоде будет производиться в Петергофе, в Естественно-научном институте, где нами получено, с согласия Академии, помещение. Если возможно, будут организованы подобные же работы, по этому же плану, в одной из морских станций (Мурманск или Севастополь).

Ввиду этого является необходимым ассигнование следующей суммы, о выдаче которой я ходатайствую:

1) на оплату труда сотрудников в Петергофе и на морской станции. Работа будет вестись наличным составом сотрудников по живому веществу, часть которых до сих пор не оплачивается, но должна быть оплачена летом (за 4 месяца), считая поездки руководителей, – это требует 1700 руб. при 8–10 сотрудниках;

2) в Петергофе и, может быть, на одной из морских станций потребуются первичное лабораторное оборудование, как-то: производство столярных и водопроводных работ, покупка печей для элементарного анализа, посуда химическая, газометры и т.д. – всего на сумму 2300 руб., считая ее добавочной к тем средствам, которые мы можем временно взять с собой в Петергоф из других лабораторий.

Так как работа ведется по совершенно новым путям и к тому же обстановка Петергофа нам практически мало известна, то потребуются еще 500 руб. на экстренные нужды.

Общая сумма 4500 руб.

Я рассчитываю, что в будущем сметном году Биогеохимическая лаборатория уже будет работать настоящим образом с общим числом научных сотрудников в 10 человек, о чем я представляю записку, но сейчас еще не следует забывать необходимого – оплаты части сотрудников до конца года (с августа по 1 октября), что еще требует 700 руб.

В. Вернадский

БАКТЕРИОФАГ И СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ЖИЗНИ В БИОСФЕРЕ*

I

Характерной чертой современной научной картины мира должно считать установление точных и четких величин, определяющих размеры составляющих частей Вселенной, тел природы. Это установление касается крупных и мелких частей мироздания одинаково. Эти размеры должны быть нашими

* Впервые опубликовано в: Природа. 1927. № 6. С. 433–446. В дальнейшем опубликовано в: Биогеохимические очерки. М.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 118–125.

веками: мы должны всегда считаться с ними в нашем научном мышлении. Размах этих величин чрезвычайен. Самая далекая звездная система, улавливаемая нашими приборами, отстоит от нас на расстоянии порядка $n \cdot 10^{26}$ см. Самое мелкое тело – ядро атомов – протон, существование которого мы должны допускать, достигает размеров порядка $n \cdot 10^{-13}$ см. В этих пределах, 10^{26} и 10^{-13} см, помещаются до сих пор известные тела природы.

Наша единица – сантиметр есть единица произвольная. Размах наблюдаемых явлений лучше определяется *более мелкой единицей* – назовем ее единицей α . В данный момент развития научного знания удобнее всего взять α равной $1 \cdot 10^{-13}$ сантиметра, т.е. $1 \cdot 10^{-6}$ микромикрона (10^{-6} $\mu\mu$), т.е. $1 \cdot 10^{-5}$ ангстрема (10^{-5} А). Выраженный в размерах этой единицы α , одной стотысячной ангстрема, наш мир дает колебания тел природы от 10α до $10^{39} \alpha$.

Несомненно, мы не дошли до пределов ни мельчайших, ни величайших тел природы. Это лишь временная, вероятно очень недолгая, остановка нашего знания.

II

Бесконечно разнообразны размеры тел природы в указанных пределах. Но едва ли можно сомневаться, что есть в этом бесконечном разнообразии размеров некоторые особенно важные для картины природы числа.

Мы давно знаем для земных естественных тел, что их размеры не случайны; они ярко и непрерываемо определяют их свойства. То же самое теперь несомненно и для тел Космоса. Одним из важнейших достижений науки последних десятилетий является установление предельных размеров звезд. Амплитуда возможных для них колебаний относительно невелика. Размышление над причинами наблюдаемых числовых величин – максимальных и минимальных пределов звезд – вскрыло перед нами роль излучений в Космосе, ту грань, которую их наличие кладет скопление материи в единое целое.

Изучение именно предельных величин, границ размеров природных тел, должно возбуждать величайшее внимание натуралиста, так как оно всегда подводит его к выяснению каких-нибудь основных условий среды, определяющих бытие данного естественного тела.

С этой точки зрения чрезвычайно важно обратить внимание на предельные размеры живых тел – организмов. Эти размеры колеблются в пределах от 10^7 до 10^{18} величины α (т.е. от десятков микромикрон до сотен метров).

Мы не имеем сейчас точных данных для выяснения верхней границы – чисел порядка $10^{18} \alpha$, но мы уже можем подойти к выяснению низшего предела величины организмов – к числам порядка $10^7 \alpha$.

III

Здесь мы подходим к числам чрезвычайного значения в строении мира. $10^7 \alpha$ – миллионные части сантиметра – определяют предельную наименьшую величину живого неделимого. $10^6 \alpha$ – десятимиллионные части сантиметра – определяют поля действия («размеры») *молекул**. $10^5 \alpha$ – стомиллионные части сантиметра – определяют поля действия («размеры») *атомов*. Именно

* Подстрочные примечания (арабские цифры над строкой) см. в конце работы после литературы.

размеры этого порядка вскрылись перед нами – вне всяких наших гипотетических построений – при изучении пространственных решеток кристаллов.

Очевидно, организм, тело которого составлено из миллионов молекул и атомов, не может иметь размеры, им равные, если только молекулы и атомы сохраняют в нем неизменными свои поля действия. Все, что мы знаем о химическом составе организмов, как раз приводит к такому заключению. Организмы должны иметь размеры большие. Однако их наименьшие размеры подходят к размерам молекул; грань величины организмов помещается в ближайшей к молекулам, но для них неизвестной декаде тел $10^7\alpha$. Живые организмы, молекулы и атомы сходятся в одной и той же определенной полосе мироздания.

Особое значение в строении мира размеров $10^5\alpha - 10^7\alpha$ не может быть случайным; оно указывает какие-то нам неведомые черты мироздания. Мы подошли к эмпирическому факту, перед которым останавливается сейчас наша научная мысль, его еще не охватывает. $10^5\alpha - 10^6\alpha$ – мир атомов и молекул, первостепенное значение которого в строении Космоса неоспоримо. $10^7\alpha$ – начало мира жизни. Случайна ли такая близость?

IV

В мир естественных тел порядка $10^7\alpha$ организмы, несомненно, входят. Мельчайшие видимые в микроскоп организмы – бактерии – микробы – достигают нескольких единиц порядка $10^8\alpha$ – десятых долей микрона.

Едва ли можно сомневаться, что за этими пределами существуют живые тела – ультрамикробы немногих единиц порядка $10^8\alpha$ или многих единиц порядка $10^7\alpha$. Предел зрения наших ультрамикроскопов $6 \cdot 10^7\alpha$ – шесть сотых микрона. В них «видны» мелкие частицы – мицеллы дисперсных систем и невидимые в микроскопы мельчайшие живые организмы. Видим, в сущности, их контуры, их облеченные лучами тени.

Но жизнь идет еще дальше. В последние годы огромное внимание возбуждают явления, которые указывают на существование живых организмов, размеры которых находятся за пределами видения ультрамикроскопов. Их размеры отвечают $(2 \cdot 10^7\alpha) - (3 \cdot 10^7\alpha)$ – двум-трем сотым микрона. Электронный микроскоп уже позволяет идти дальше.

Жизнь здесь подходит к физическому пределу своего существования. Она вступает в мир мельчайших комплексов молекул – мельчайших частиц дисперсных систем. Один шаг отделяет ее от мира молекул.

V

Явления, подавшие повод к таким заключениям, были замечены давно, еще в прошлом столетии; но медленно выяснялась картина происходящего. Уже в 1890-х годах с ними встретились, но давали им иное объяснение.

Лишь в 1917 г. – десять лет назад – французский ученый Ф. д'Эрелль (F. d'Herelle) подошел к ним с новым пониманием. Рядом долголетних блестящих опытов он обосновал свое о них представление, как о проявлении жизни мельчайших невидимых организмов и чрезвычайно расширил как область этих проявлений, так и научный фактический материал, с нею связанный. Под его влиянием в эту область проявлений жизни двинулась целая армия научных работников.

Недавно (1926 г.) Ф. д'Эрелль выпустил чрезвычайно интересную книгу, в которой он свел результаты всей сделанной за десять лет работы – своей и чужой, ответил на многочисленные возражения и дал яркую и блестящую картину явления на фоне современного состояния знаний [3]².

Бактериофаг – *Protobios bacteriophagus d'Her*, по представлению Ф. д'Эрреля, есть мельчайший организм, размером порядка $(2 \cdot 10^7 \alpha)$ – $(3 \cdot 10^7 \alpha)$, питающийся бактериями. Исчезновение из поля зрения – «растворение» – бактерий, поедание видных в микроскоп организмов (бактерий) невидимыми (бактериофагами) являются тем объективным проявлением существования бактериофагов в среде нахождения бактерий, которое может быть видимо.

Очевидно, какое огромное значение в борьбе с болезнями должно иметь то или иное объяснение этого наблюдаемого исчезновения бактерий, и неудивительно, что выдвинутое Ф. д'Эреллем объяснение возбудило общее внимание.

То или иное решение вопроса имеет для нас жизненное значение. Хотя сейчас объяснение Ф. д'Эрреля находит все больше и больше сторонников, новая его книга, должно быть, будет еще больше этому способствовать, но все же оно не является общепринятым, и продолжаются попытки объяснить эти явления без участия организмов, питающихся бактериями [5].

VI

Не мне, конечно, судить в этом споре. Если я решаюсь коснуться этих вопросов в этой статье, то лишь потому, что вопрос о бактериофагах теснейшим образом подходит к вопросам, связанным с геохимической энергией жизни, над которыми я работаю, и позволяет проверить некоторые из сделанных мною при этом выводов [1, 2. С. 30 и сл.].

Одним из них является теснейшая зависимость между размерами организмов и их влиянием на миграцию химических элементов в биосфере, на геохимический эффект жизни. Можно утверждать в первом приближении, что этот эффект обратно пропорционален размерам неделимых данного однородного живого вещества [2. С. 38].

Каждый организм при дыхании, питании, размножении вызывает вокруг себя, в окружающей его среде, ток химических элементов, и интенсивность этого тока определяет производимую им в биосфере работу, дает точное представление о свойственной ему геохимической энергии.

Мы можем изучать проявление геохимической энергии живых веществ как путем наблюдения реального эффекта, производимого организмами, так и путем определения максимального возможного для них выявления этой энергии при оптимальных условиях жизни.

В геохимических процессах наибольшее значение имеют явления размножения, так как только путем размножения может происходить растекание геохимической энергии по поверхности планеты.

Источником геохимической энергии организма является лучистая энергия Солнца: при размножении организмы распределяют ее, вызывая токи химических элементов по всей поверхности Земли. Можно вычислить быстроту такого растекания энергии, исходя из размеров организма, темпа его размножения и размеров земной поверхности. Размножение организмов,

вызывающее растекание геохимической энергии, неизбежно и теснейшим образом связано с дыханием организмов, т.е. с обменом между газами Земли и организмами. Газовый обмен тем интенсивнее, чем быстрее размножается организм, чем он мельче.

Физическая среда, в которой идет жизнь организмов, резко меняется в зависимости от их размеров. Организмы, приближающиеся по размерам к пределу жизни, сравнимые по величине с молекулами, выходят из обычного поля тяготения, в котором находятся остальные организмы, и живут в поле преобладающего влияния молекулярных сил.

Таковы бактерии, размеры которых отвечают $n \cdot 10^8 \alpha$, и бактериофаги – $n \cdot 10^7 \alpha$.

Их проявления при дыхании в газовой среде или в жидкости, содержащей в растворе газы, неизбежно будут иными, чем газовый обмен больших организмов. Дыхание мельчайших организмов будет идти в поле, регулируемое молекулярными силами; газовый обмен будет происходить между телами близкого по величине порядка – между газовыми молекулами и мелкими живыми особями.

Благодаря этому такой организм при газовом обмене в жидкой среде не выходит из пределов ее газовой среды – среды растворенных в жидкости газов.

Неизбежность газового обмена организмов при растекании их геохимической энергии по земной поверхности ставит пределы интенсивности вызываемой этим путем миграции химических элементов биосферы.

Растекание геохимической энергии может быть измеряемо скоростью растекания, величиной, которую я назвал v – скоростью передачи геохимической энергии жизни, или, короче, *скоростью заселения планеты*³. Величина эта, очевидно должна иметь предел, зависящий от свойств той среды, в которой происходит изучаемое движение. При этом мы неизбежно должны считаться с основным механическим принципом, который можно назвать *принципом предельных скоростей*. Он устанавливает, что скорость любого движения в какой-нибудь среде не может превысить максимальную скорость, существующую для этой среды, если только это движение не разрушает самую среду. Для материальных сред такой предельной скоростью является *скорость распространения в них звуковых волн*, связанная с упругими колебаниями молекул среды и с сохранением ее нерушимости.

Отсюда следует, что при растекании геохимической энергии живого вещества скорость его не может превысить скорость звуковых волн, свойственную этой среде, ибо иначе движение вызванных при этом миграций химических элементов разрушит среду и сделает ее непригодной для размножения.

Наиболее быстрое растекание геохимической энергии дышащих организмов должно приближаться к этой предельной скорости в тех случаях, когда размножение организмов достигает возможного в явлениях жизни высшего предела.

VII

Определение величины v для бактерий, основанное на количестве поколений в сутки, создаваемых ими при делении (температура размножения), и на величине бактерий (в долях микрона), указало, что *скорость для них приближается к скорости звуковых волн в газовой среде тропосферы*. Она достигает

порядка 33 000–34 000 см/сек и даже превышает эту величину. При этом совершенно ясно, что для бактерий скорость эта – в общих чертах – обратно пропорциональна их размерам.

При дыхании бактерия неизбежно вызывает в газовой атмосфере, в которой она дышит, звуковую волну, конечно неслышную нашему уху, но обладающую [несколько меньшею] скоростью, чем та, какая свойственна звуковым колебаниям атмосферы дыхания. Эта звуковая волна происходит неизбежно, когда бактерия извлекает из атмосферы нужные ей молекулы газа. Однородность газа нарушается – и газовая среда «дрожит». Эта тончайшая звуковая газовая волна может не отражаться в жидкости, где живет бактерия и где растворен связанный с ней газ, как не отражается в ней движение газа, связанное с его парциальным давлением.

Уже по одному этому ни одно явление, связанное с дыханием, не может обладать скоростью, превышающей скорость вызванного им звукового колебания среды дыхания.

Изучение передачи геохимической энергии бактериями показывает, таким образом, что они достигли предела размножения, возможного для живого вещества. Оно, сверх того, устанавливает, что наибольшей скоростью v обладают наиболее мелкие бактерии.

Размеры бактерий достигают $n \cdot 10^8 \alpha$. Неизбежно думать, что организмы более мелкие, каковыми, очевидно, являются бактериофаги, будут обладать еще большей величиной v , превысят, таким образом, скорость звуковой волны в среде жизни.

Как будто получается противоречие между двумя основанными на физически непреложных положениях выводами.

Как объяснить это? Кажущееся ли это противоречие или реальное? Если реальное, должны быть внесены серьезные, коренные поправки в те положения, которые здесь изложены. Если же это противоречие кажущееся, перед нами как будто открывается новая, неожиданная форма проявления жизни в биосфере.

VIII

С этой точки зрения меня и заинтересовали указанные Ф. д'Эреллем организмы. Доводы его представляются мне убедительными; знакомство с выражениями не меняет этого заключения. Действительно, факты, кажется, говорят за реальное существование бактериофагов, организмов порядка $10^7 \alpha$.

В то же самое время приходится согласиться с д'Эреллем, что и темп их размножения гораздо выше темпа размножения бактерий. Мы не можем его точно определить из-за недостатка данных, но для них коэффициент Δ много превышает 100, тогда как у самых мелких бактерий он близок к 70, а обычно колеблется в пределах 40–60⁴.

При таком Δ и при величине бактериофагов порядка $2 \cdot 10^7 \alpha$ или $3 \cdot 10^7 \alpha$ скорость [заселения ими] биосферы, отвечающей их геохимической энергии (величина v), будет превышать больше чем в два раза скорость распространения звуковых волн в воздухе: она будет измеряться многими десятками тысяч сантиметров в секунду, будет много больше 100 000 см/с. Данных для точного подсчета ее нет, но факт мне представляется несомненным: как бы в противоречие с выводами, полученными мною раньше, скорость здесь значительно превышает скорость звука в воздухе.

Описание жизни бактериофагов, сделанное Ф. д'Эреллем, совершенно разъясняет кажущееся противоречие. Ф. д'Эрелль выяснил биологию бактериофагов в ряде опытов, вскрывших перед нами своеобразную картину их жизни. Многие черты ее получают объяснение в связи с указанными здесь гранями жизни, с ее геохимическим проявлением.

Бактериофаги рассеяны всюду. Они не только находятся внутри организмов – внутри организмов млекопитающих, в том числе и человека, в их крови, в их тканях, в их моче, – они находятся в растениях и животных, в речных и морских водах, в почве и в пыли. Они находятся всюду, куда проникают остатки организмов, – они проникают в их тело и органы. Единственная взятая проба океанической воды, однако, их не указала⁵. При таком их распространении характерно отмеченное Ф. д'Эреллем явление, что *бактериофаги размножаются только внутри бактерий*, а всюду рассеяны в виде *инертных спор*.

С этой точки зрения чрезвычайно любопытны опыты И. Бронфенбреннера [4. С. 52], которые, как он думал, противоречат представлению о бактериофаге как об организме. Он доказал, что в воде, где находится бактериофаг и действие которой на бактерии сказывается очень ярко, *нет никакого газового обмена*. Это явление вполне отвечает тому состоянию, в виде спор, к которому Ф. д'Эрелль пришел, исходя из совершенно других данных наблюдения. Мы знаем, что в семенах и спорах нет или почти нет газового обмена: жизнь находится в них в латентном состоянии.

Опыты Ф. д'Эрелля приводят к заключению, что бактериофаги находятся в таком латентном состоянии в любом теле – в почве, в природной воде, в внутренностях организмов. Они выходят из этого состояния лишь тогда, когда они сталкиваются с бактериями. Бактериофаг прилипает к бактерии, в нее проникает и немедленно начинает размножаться. Размножение идет чрезвычайно быстро и происходит иначе, чем размножение бактерии. Каждая бактерия в конце концов в короткий срок превращается в 15–25, может быть больше, бактериофагов. Размножение бактериофагов в массе бактерий идет скачками или с замедлениями. В 5¹/₂ часа один бактериофаг может дать около 1 500 000 неделимых, причем бактерии соответственно исчезают⁶.

Очевидно, что при таком характере размножения величина v бактериофага может превышать скорость звуковой волны в атмосфере его дыхания, ибо бактериофаг *разрушает* эту среду: должен происходить как бы взрыв, уничтожающий бактерию. Любопытно, что, описывая свои опыты, Ф. д'Эрелль отмечает как раз это явление – он говорит, что при размножении бактериофагов происходит «*éclatement*» бактерии.

В какой-нибудь среде, переполненной бактериями, вызывающими со скоростью, близкой к звуковой волне (около 33 000 – 34 000 см/сек), миграцию химических элементов, попавший в нее бактериофаг производит в короткое время резкое изменение, быстро растущее с ходом времени, согласно геометрической прогрессии. Изменение в перемещении химических элементов производится бактериофагом еще с большей интенсивностью; оно идет со скоростью, в несколько раз превышающей скорость звука*. В конце концов,

* Для $\Delta = 100$ и при диаметре бактериофага, равном $2 \cdot 10^{-6}$ см, величина $v = 228\ 694$ см/с.

и очень быстро, атомы бактерий принимают новое положение в телах бактериофагов: миграция элементов в среде их жизни, ими вызванная, прекращается, так как бактериофаги являются в ней инертными, неподвижными, устойчивыми системами атомов.

Представим себе какую-нибудь водную среду, замкнутый водный бассейн, переполненный бактериями. При благоприятных условиях бактерии достигнут предельного количества их в данной среде, и больше при данных внешних условиях они не должны размножаться, это – состояние, при котором активная геохимическая энергия жизни достигла максимально возможного проявления; избыток ее находится в потенциальном состоянии. Назовем это состояние равновесия состоянием *A*.

Если в эту среду попадет хотя бы один бактериофаг (размерами $2 \cdot 10^{-6}$ см), то эта среда выйдет из состояния равновесия; в конце концов бактерии уничтожаются, и в предельном случае они все будут заменены бактериофагами. Получится другое состояние равновесия – состояние *B*, в котором вся геохимическая энергия жизни находится в потенциальном состоянии⁷.

При неизменности внешних условий среды в обоих случаях и бактерии и бактериофаги должны оставаться в таком состоянии неопределенное время.

Наблюдается всегда переход:



В среде существует наибольшая активная геохимическая энергия жизни; она *сдерживается* внешней силой (давление жизни)

Активной геохимической энергии жизни в среде нет; она нацело перешла в потенциальное состояние под влиянием сил организма (латентная жизнь)

Необходимо иметь в виду, что в обоих случаях в данном бассейне заключается определенное и неизменное количество живого вещества, которое может быть точно вычислено.

Количество бактерий в природных бассейнах по весу отвечает содержанию в природных водах химических компонентов; оно одного порядка с весовым содержанием в пресной воде определенных катионов или анионов или с содержанием в соляных водах и в рассолах более редких элементов.

Так, в природных речных водах весовой процент бактерий отвечает $(n \cdot 10^{-3}) - (n \cdot 10^{-8})\%$; в этих пределах колеблются и химические компоненты пресной воды. И те и другие влияют на миграцию атомов в природной воде, но влияние живых существ гораздо могущественнее.

Количество таких активных центров живого вещества может быть чрезвычайным. Наилучшие культуры бактерий могут давать в 1 см^3 жидкости количества неделимых порядка $n \cdot 10^9$, бактериофаги – порядка $n \cdot 10^{11}$.

Жидкость, переполненная бактериями, – мутная, тельца их резко меняют ее характер; жидкость, содержащая бактериофаги, так же прозрачна, однородна и обычным путем неотличима от жидкости, их лишенной, как неотличим на вид от чистой жидкости ее соленый слабый раствор, содержащий ионы элементов.

X

Работы над бактериофагами открывают новые проявления жизни в биосфере.

Во-первых, они указывают, что могут существовать организмы еще более мелкие, чем бактерии, обладающие еще большей геохимической энергией.

Скорость ее передачи для этих организмов, т.е. скорость передачи их жизни в биосфере, превышает в *несколько* раз скорость звуковых волн в атмосфере.

В соответствии с этим организмы эти не могут существовать без резкого разрушения той среды, в которой они размножаются. Вне тех организмов, в которых они размножаются, они находятся в латентном состоянии. Вероятно, таковы все организмы, размеры которых отвечают порядку тел $10^7\alpha$. Организмы порядка 10^7 (т.е. сотых долей микрона) могут существовать – проявлять активную геохимическую энергию – только *внутри* живого вещества, его интенсивно разрушая. Организмы этого и следующего порядка, $10^8\alpha$ (т.е. десятых долей микрона), лежат вне поля тяготения – живут в поле молекулярных сил.

Только организмы порядка $10^9\alpha$ и выше входят в область проявления сил, которым подчинены мы сами, попадают в наше обычное пространство.

Такое живое вещество в этой доступной непосредственному резонансу наши), органов чувств среде – в поле тяготения – стремится в своем бытии достигнуть всюдности, проникнуть всюду, заполнить среду до конца. Оно достигает этого своей способностью к приспособлению к среде, способностью, действующей неуклонно и непрерывно сотни миллионов, по-видимому миллиарды, лет. Приспособляемость жизни необычайна, и формы ее проявления бесконечны. Идёт, по-видимому, расширение поля жизни [2. С. 112 и сл.].

В бактериофагах мы наблюдаем то же явление в молекулярно-термодинамическом поле. Жизнь и здесь достигает своего возможного физического предела.

Мы не знаем, проявлением чего является это основное свойство живого тела, его стремление заполнить любое пространство – давление жизни.

Его проявление и в поле тяготения, и в поле молекулярных сил, по-видимому, указывает, что сила, которой оно служит выражением, выходит за пределы энергетики планеты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вернадский В.И. Очерки геохимии. Л., 1934. 380 с.
2. Вернадский В.И. Биосфера. Л., 1926. 146 с.
3. Д'Эрелля F. La bacteriophage et son comportement. 2-me éd. entièrement refondue. P. (Masson et C-е), 1916.
4. Bronfenbrenner J. // Science. 1916. 63. P. 52.
5. Bordet J. // Annales de l'Institut Pasteur. P., 1926. 39. P. 717.

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ Эти размеры вытекают из числа Авогадро (Лошмидта); они связаны с тем, что число газовых молекул в 1 см^3 не может превышать при 0° или 760 мм $2.07 \cdot 10^{19}$ молекул. Размеры молекул, определяемые изучением отдельных физических явлений, значительно меньше и лежат в порядке 10^3 . Порядок 10^6 должен отвечать максимальному пределу величины молекулы.

² В 1926 г. вышел русский перевод, сделанный с первого издания работы Ф. д'Эрелля. Очевидно, это издание сейчас не представляет никакого интереса, оно уже устарело.

³ Было «передачи жизни».

⁴ Δ определяет темп размножения; входит в уравнение $2n\Delta = Nn$, где n – сутки, а Nn – количество неделимых, образовавшихся при размножении в n суток.

⁵ Бактериофаги находятся и там.

⁶ Можно вычислить приблизительно темп такого размножения; коэффициент Δ значительно выше 100 (больше 125).

⁷ В действительности процесс гораздо сложнее. Разные бактерии разнo сопротивляются

бактериофагу. Происходит отбор, и всегда выделяется раса устойчивая, на которую бактериофаги не действуют. Получается таким путем сложное равновесие: бактериофаги – устойчивые бактерии. Любопытно наблюдение Ф. д'Эрелля, что бактерии, так выделяемые, проходят через все фильтры, отличаются очень мелкими размерами. Он их назвал *протобактериями*. Мелкость размеров указывает с точки зрения излагаемых здесь идей на больший темп размножения протобактерий по сравнению с обычными бактериями. Мелкость их размеров такова, что они в этой среде, подобно бактериофагам, должны находиться в латентном состоянии спор. Наблюдения Ф. д'Эрелля этому не противоречат.

О ПОЛЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЖИДКОЙ УГЛЕКИСЛОТЫ В БИОСФЕРЕ*

Доложено в РИСО 29.06.1931

1. Углекислота в термодинамических условиях земной коры может являться не только в газообразном состоянии; она может существовать в ней во всех трех своих физических фазах – в твердом (правильной системы), в жидком и в газообразном состояниях.

Обычно и в биологических и в геологических науках учитывают только газообразную углекислоту, не обращая внимания на существование в механизме биосферы огромных областей, в которых могут существовать две ее фазы – газообразная и жидкая, причем устойчива жидкая.

В биосфере есть две разные области такого ее нахождения – области охлаждения суши и гидросфера.

Давно известно ее существование в жидком состоянии в бесчисленных микроскопических порах массивных пород и в разнообразных минералах. В частности, по-видимому, в гранитных породах и в кварцах пегматитовых жил и сухих трещин она в таком состоянии не только обычна, но отвечает большим массам вещества.

Жидкая углекислота является в этих образованиях вторичной; она образовалась в биосфере и, может быть, в прилегающих к ней областях (в стратисфере), температура которых ниже критической температуры углекислоты, равной 31 °С.

Такого рода температуры на суше не идут очень глубоко и могут наблюдаться не глубже одного-двух километров от земной поверхности, следовательно, в среднем они в большинстве континентов могут лишь немного заходить ниже уровня океана и за пределы биосферы. Они сосредоточены в особых областях охлаждения.

Углекислота в этих порах первоначально выделялась в газообразном состоянии при высоких температурах, но перешла в жидкое состояние, когда породы и минералы, ее заключающие, сильно охладились, попали благодаря тектоническим смещениям – на земную поверхность в область низких температур, в среднем ниже 31 °С.

Она превратилась в жидкость, так как при больших давлениях и при температурах ниже критической жидкая фаза ее является устойчивой.

Ее образование отвечает равновесиям, устойчивым в термодинамическом

* Опубликовано в: ДАН СССР. А. 1931. № 11. С. 287–295.

поле биосферы, к которому приспособились чуждые ему породы и минералы глубоких геосфер.

К сожалению, чрезвычайно важное в ее земной истории нахождение жидкой ее фазы, вероятно по общей массе во много раз превышающее нахождение газообразных форм CO_2 в атмосфере, мало изучено, хотя оно было выяснено Зелльнером еще в 1855 г., установлено Фогельзангом и Гейсслером в 1871 г.; оно предвиделось К. Бишофом еще в 1847 г.

Жидкая углекислота должна встречаться и в осадочных породах в областях охлаждения биосферы, и в отвечающих им подземных водах. Это явление пока не установлено. Оно тесно связано с большим планетным явлением – с существованием на ней поля устойчивости твердой фазы воды и к нему прилегающих областей охлаждения.

Область этих явлений настоятельно требует углубления и изучения, ибо даже имеющиеся данные не сведены и не вошли в научный обиход.

2. Еще хуже обстоит дело с другим полем устойчивости жидкой углекислоты в биосфере, гораздо большего значения.

Это – возможное нахождение жидкой углекислоты в биосфере, в ее поверхностных водах. Вся эта огромная область, много бóльшая, чем область массивных пород суши, заключающих жидкую CO_2 , теснейшим образом связанная с газовым режимом планеты и с населяющей ее жизнью, оставляется без внимания и, мне кажется, совершенно не отмечена в научной литературе и не учитывается в наших представлениях, ни геологических, ни биологических¹.

Область эта – гидросфера, всемирный океан, и глубокие водные холодные бассейны суши.

В сданной в печать первой части моей книги «История природных вод»² я пытаюсь выяснить значение этого явления в минералогии и в геохимии природных вод. Оно представляется мне на основании его оценки в этой работе столь важным, что, я думаю, будет небесполезно обратить на него внимание в этой заметке, не ожидая выхода в свет моей книги. Сейчас идет большая, хотя все же, к сожалению, недостаточная при тех возможностях и особенно требованиях жизни, среди которых мы живем, исследовательская гидрологическая и гидробиологическая работа в нашей стране. Некоторые следствия из признания условий устойчивости жидкой углекислоты в океане, а главным образом в прибрежных морях, где преимущественно работают наши ученые, и в таких озерах, как Байкальское, могут быть учтены при работе, как, например, гидрологическое и биологическое значение глубин 300–500 м, 730–820 м, о которых говорится дальше. Важно их учесть возможно раньше.

3. Весь океан лежит в области устойчивости жидкой углекислоты, так как температура выше 31 °С может наблюдаться в нем только в исключительных случаях на небольшом пространстве. Наибольшая температура, которая отмечена вообще в океане не на поверхности, кажется, не превышает и 34 °С; это ничтожные доли массы морской воды.

Можно в общем – в пределах точности нашей современной работы – считать, что вся масса воды океана и морей не выходит за пределы поля устойчивости жидкой углекислоты, обладает температурой ниже ее критиче-

¹ Здесь и далее подстрочные примечания см. в конце работы.

ской температуры. Поправки, которые надо будет внести в это положение, выходят за пределы точности наших обычных наблюдений.

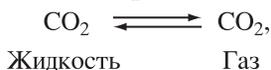
Средняя температура массы воды океана, по О. Крюммелю, равна 3,5–4,5 °С, для Тихого океана равна 3,7 °С; большие массы околополярных вод, особенно далеко поднимающиеся от полюса в Южном полушарии, значительно холоднее, около 0°, в огромных скоплениях еще холоднее, ниже – 1,8 °С.

Эти низкие температуры сочетаются с огромными давлениями. В океане давления могут достигать 1000 атмосфер; уже в его неглубоких частях они достигают десятков атмосфер. Мы знаем, что уже при 0° и 36 атмосферах давления газообразная углекислота неустойчива и превращается в жидкость. Эти условия в некоторых частях океанов и морей достигаются уже на глубине около 360 м, а при температуре 3,0–3,5 °С будут наблюдаться на глубинах больших, едва ли однако много больших, чем 400–450 м, так как углекислота по Т. Анджьюсу сжижается при 48,89 атмосферах давления (resp. 490 м глубины) уже при температуре в 13,1 °С. При 72,92 атмосферах давления достигается критическое давление, выше которого жидкая углекислота является – ниже своей критической температуры – более устойчивой, чем газообразная. Газообразная ее фаза может здесь существовать лишь в присутствии жидкой (ниже критической ее точки).

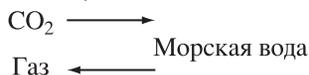
Это критическое давление достигается примерно на глубине 730 м, где высшая температура морской воды, по-видимому, как общее правило не превышает 10 °С.

В более глубоких слоях океана будет устойчива жидкая углекислота, тем более устойчива, чем выше давление, т.е. чем больший столб воды над ней находится.

Это не значит, чтобы в такой термодинамической обстановке могла существовать только одна жидкая углекислота, но в ней должно существовать равновесие, причем не может существовать только одна газообразная CO_2 , как это мы наблюдаем на земной поверхности.



4. Возможность существования устойчивости жидкой фазы углекислоты в морской воде³ надо принимать во внимание особенно потому, что динамическое равновесие очень сложно; оно далеко еще научно не охвачено.



При растворении углекислоты в воде, углекислота как газ в значительной части исчезает, входя и в чистой воде и в водных растворах в химическую реакцию с водой, образуя быстро разлагающиеся кислотные гидраты. По нашим современным представлениям это выражается в образовании ионов HCO_3' и CO_3'' . В растворах, где присутствуют другие ионы, эти реакции идут и более энергично и более сложно.

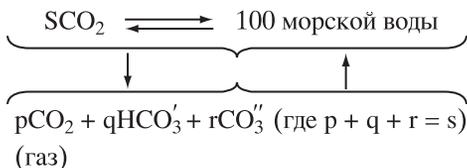
Переход в жидкую фазу должен чрезвычайно нарушать эти равновесия, ибо в то время, как газообразная углекислота растворяется в воде, давая физически однородное тело, жидкая углекислота в воде нерастворима или почти нерастворима (и обратно)⁴. Получается при их проникновении для чистой

смеси $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ физически неоднородная среда или эмульсия, или обе жидкости разделяются на два слоя.

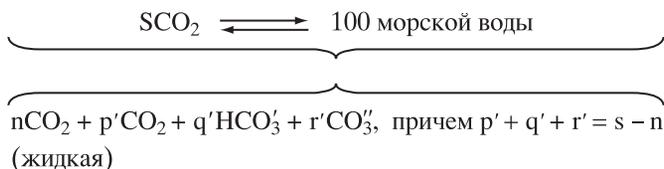
Химическая реакция между углекислотой и водой на глубинах должна прекратиться или затормозиться.

В то же время значительно меньший удельный вес жидкой углекислоты (0,914 при 0° при обычном давлении по Амага) по сравнению даже с водой, не говоря о морской воде (1,024 при обыкновенном давлении – 1,071 на глубине 9,79 км – по Зупану-Обсту), очевидно, должен вызывать ее движение вверх, сдерживаемое в какой-то степени ростом давления с глубиной.

Возможно, что на глубинах ниже 730–900 м мы имеем вместо равновесия



равновесие (может быть, быстро изменяющееся)



Необходимы опыты для того, чтобы определить отношение между s и p.

И прежде всего необходимо тщательно количественно изучить режим углекислоты на глубинах 310–550 м и 730–900 м в океанических, морских и в холодных озерных бассейнах.

Надо ждать, что в водных бассейнах биосферы где-то на глубинах около 700–900 м существует резкий перелом в газовом режиме углекислоты, связанный с растущей устойчивостью жидкой углекислоты.

5. Надо несколько остановиться на этом выводе, который может казаться парадоксальным.

Мы привыкли сейчас в океанографии и в лимнологии к представлениям, которые воспринимаем без серьезной научной их критики.

Как показал в 1840-х гг. талантливый, рано умерший французский физик Г. Эмэ (H. Aimé), океан (и всякий поверхностный водный бассейн) проникается до дна газами из тропосферы, которые в зависимости от своего химического состава различно растворяются в нем и регулируются парциальным давлением, определяемым их растворимостью (т.е. химической связью с раствором) и их содержанием в тропосфере. Пронизывающие океан газы образуют как бы непосредственное, но измененное химическим взаимодействием, продолжение тропосферы, проникающее океан до дна, как бы океаническую ее часть, иного чем она состава. Это есть *океаническая внутренняя атмосфера*.

Как будет изменяться эта, находящаяся во взаимодействии и в связи с тропосферой, газовая часть природных вод, давление которых увеличивается приблизительно на одну атмосферу на каждые 10 м и может превышать для океана тысячу атмосфер? Точно и определенно сейчас мы ответить на этот

вопрос не можем. Физик не изучал таких структур, никогда не воспроизводил их в лаборатории. Даже при условии, что в то самое время, как водяные массы на глубине, например, 3,7 км (средней глубине океана) находятся под давлением около 370 атмосфер, проникающие же их газы находятся только под давлением газового столба из земной атмосферы и океанической внутренней атмосферы (3,7 км мощностью), все же нельзя считать, что такое строение не отражается на углекислоте газового столба. Ибо коэффициент растворения CO_2 , определяющий ее парциальное давление в газовом столбе океана, не может существовать в среде, где газовая фаза углекислоты отсутствует; он зависит от химического взаимодействия $\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}$. Нельзя принимать при расчетах, которые делаются, обычного коэффициента растворимости газообразной углекислоты.

Надо учитывать сверх того еще гораздо большую устойчивость при больших давлениях тех водных кислотных карбонатных гидратов (и кислых солей), присутствие – и даже преобладание – диссоциационных продуктов которых мы должны допускать всегда в морской воде. Эти диссоциационные продукты, выраженные в форме CO_2 , отвечают массам углекислоты, больше чем в 42 раза слишком по весу превышающим массы растворенной в морской воде газообразной углекислоты. Надо думать, что парциальное давление газообразной углекислоты должно уже поэтому быстро падать с глубиной.

Очень вероятно, что на некоторой глубине вся углекислота раньше могущего быть ее сжижения в жидкость будет уже находиться в связанном виде и как таковая в газовом растворе в океанической внутренней атмосфере будет отсутствовать.

На некоторой глубине, разной в разных случаях, которая должна быть определена наблюдением, морская вода из подкласса вод $\text{N}_2\text{-O}_2\text{-CO}_2$ перейдет в подкласс $\text{N}_2\text{-O}_2$.

Явление химического связывания на глубинах должно проявляться еще более сильно, ибо, помимо кислотного гидрата H_2CO_3 (может быть, H_4CO_4) на холоду и под давлением образуется твердый гидрат другого строения – $\text{CO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, растворимый в воде. Он также может проявлять свое действие в этих областях.

Мы находимся здесь в области явлений, где нет сейчас достаточного числа данных для точного научного суждения, нет физического опыта.

Эти данные надо приобрести. Необходимо идти двумя путями: физическим экспериментом в лаборатории и количественным наблюдением в поле.

И там и здесь работа не была произведена: в первом случае – в условиях, близких к природным, во втором – при наблюдениях и их установке не принималось во внимание, что морская вода глубин есть область, где газообразная фаза углекислоты может отсутствовать, быть неустойчивой. Необходимо еще раз подчеркнуть, что система из жидкости, сжатой давлением до тысячи атмосфер, и проникающего ее газа, находящегося под давлением немногих атмосфер, каким является океан, никогда не была в руках физика.

6. Если по отношению к растворенной газообразной кислоте может быть неясность в представлении об отвечающем ей давлении в морских глубинах ввиду неразрывной связи ее с тропосферой, в морской воде есть случаи выделения углекислоты, связь которых с тропосферой или совсем отсутству-

ет, или чрезвычайно усложнена.

В числе таких случаев находится такое первостепенное в строении водных бассейнов биосферы явление, как жизнь, живые организмы. Мы знаем, что жизнь является в биосфере одним из основных источников, создателей газообразной углекислоты.

Морской организм находится под тем же давлением, какое имеет водная масса, в которой он обретается. Часть газов организма⁵ сообщается с тропосферой для наземных организмов, с океанической подводной атмосферой для морских. Для этой части может быть поднят тот вопрос, который рассматривался в § 5.

Но в организмах – в каждом – есть замкнутые полости (вакуоли одноклеточных, например), которые совершенно независимы от океанической внутренней атмосферы. Организмы затем выделяют при дыхании, при метаболизме, газы, иногда почти чистую углекислоту. Газы эти в зависимости от быстроты и формы жизненного процесса могут выделяться в морскую воду в виде свободных пузырьков.

Для холоднокровных морских организмов температура их не очень далека от температуры морской воды, где они находятся. Они, таким образом, подчиняются нацело термодинамическим условиям – температуре и давлению – водных морских глубин.

Для них, следовательно, углекислота *не может существовать в газообразной форме без одновременного нахождения ее жидкой фазы.*

Очевидно, это должно вносить чрезвычайные изменения и в их организацию и отражаться на их распространении в морских глубинах.

Обладающие чрезвычайной приспособленностью и в силу законов энергетике должны проявлять максимальную геохимическую энергию, т.е. заселять всю биосферу, организмы представляют объекты океана, на которых наиболее резко должно ждать проявлений того положения, что океан находится в поле устойчивости жидкой, а не газообразной углекислоты.

Именно для организмов особенно желательно проследить значение в их вертикальном распространении и в их организации указанных в § 2 глубин 300–500 и 730–900 м.

Как идет там их дыхание?

К сожалению, на этот вопрос нельзя сейчас научно ответить: нет данных.

7. Остановимся на трех примерах, в которых можно видеть ясно важность учета характера поля углекислоты в океане при изучении проникающей его жизни.

Первым я возьму нижний предел планктона. Чем он обусловлен?

За предел планктонной жизни принимается глубина в 200 м, например в русских биогидрологических работах⁶, но солнечные лучи идут много глубже: в средней части Атлантического океана фиолетовые и синие лучи наблюдаются еще на глубине 500 м, ультракрасные – на глубине 1000 м, и лишь на глубине 1700 м исчезают проявления важного для жизни солнечного излучения⁷.

До глубины 400–500 м можно ждать проявления (например, для багрянок) фотосинтеза.

Однако нижняя граница планктона лежит много выше. Очевидно, она

обусловлена чем-то другим, а не исчезновением света.

Двести, а по другим данным четыреста, метров как раз подходят к той границе, где должна сказываться неустойчивость газообразной углекислоты.

Очень важно было бы изучить существование планктона при температурах и давлениях, отвечающих глубинам в 300–500 м, при наличии света.

Не требует ли при этих условиях дыхание организмов наличия приспособлений (благодаря устойчивости жидкой углекислоты или исчезновению газообразной из водного раствора), отсутствующих у (большинства?) планктонных организмов?

8. Тот же вопрос ставится и по отношению к характеру процессов, которые должны идти в донных морских гязях, значение которых так велико в геохимических явлениях и в частности тесно связано с химией подземных пластовых вод суши.

Грязь водных бассейнов в общей экономии природы аналогична почве суши, как это ясно видел уже Бюффон. Она так же, как почва, переполнена жизнью, и в ней, как и в почве, на первом месте стоит биогенная миграция химических элементов.

Биогенная миграция элементов почв теснейшим образом связана с выделением газообразной углекислоты. «Дыхание почв» играет огромную роль в круговороте углекислоты в тропосфере, как это недавно выявил К. Лундгорд⁸. В почвенной атмосфере углекислота стоит по весу в одной декаде с азотом, а иногда господствует.

Это выделение CO_2 главным образом производится микробами и микроскопической флорой и фауной вообще. Как должно идти это явление в среде, где газообразная углекислота неустойчива? Состав морской гязевой атмосферы должен резко отличаться от таковой почвенной.

Или микробы морских глубоких гязей в своем газовом обмене должны иметь особые приспособления, например выделять (или изменять?) жидкую углекислоту, или морские осадки должны быть резко отличны от водных гязей мелководных или теплых бассейнов.

Своеобразный характер осадков океанических глубин, далеко научно не ясных, не противоречит этому выводу.

9. Третий пример, на котором я здесь остановлюсь, касается своеобразного газового содержания плавательного пузыря рыб глубоководных или же обычных рыб, могущих опускаться на большие глубины. Более 100 лет тому назад Био показал, что газы плавательного пузыря этих рыб обогащены кислородом, объемный процент которого может превышать 90%. В природе до появления культурного человека, это были самые большие выделения свободного кислорода в чистом виде.

После работ Био были открыты в этих рыбах особые железы, выделяющие свободный кислород. Объяснения это явление не имеет, так как им, очевидно, не может считаться обычно указываемое как причина его сохранение гидростатического давления, позволяющего этим рыбам находиться на глубинах. Для чего здесь кислород? *Отчего* вырабатывается и из *чего* вырабатывается чистый кислород?

Определенное нахождение этих рыб на холодных глубинах, несомнен-

ность давления, под которым они находятся, равного давлению морских глубин – десятков и сотен атмосфер, заставляют считать, что в своем дыхании рыбы эти должны жить в условиях устойчивости жидкой углекислоты. Образование ими чистого кислорода должно быть изучено при учете этого факта. Не есть ли кислород пузыря продукт разложения жидкой CO_2 ?

Проблем жизни, связанных с особым для углекислоты полем, какое представляют из себя глубины океанов, можно было бы привести много.

Но и приведенные, мне кажется, ясно указывают, насколько необходима здесь новая экспериментальная и наблюдательная работа.

10. Помимо жизни, есть еще один случай возможного выделения жидкой углекислоты в морских глубинах. Это случай выхода газовых углекислых струй на дне морей при температурах, недалеких от 31°C . Такие струи на суше наблюдаются во многих термальных источниках и в областях замирающих древних вулканических очагов.

Можно ждать таких выходов в определенных частях океанов – в приконтинентальных морях. Здесь под дном моря могут находиться породы стратиферы, метаморфической и гранитной геосферы.

Входя в холодные области морей в условиях давления в сотни атмосфер, газовые пузыри углекислоты должны давать легкие капли жидкой углекислоты, аналогичные ее каплям во включениях охлажденных пород биосферы.

Но эти капли более легкие, чем водный раствор, будут быстро подниматься кверху, в верхние слои морской воды, и переходить в гидраты.

Опыт и наблюдения одни могут решить эти и многие другие вопросы, связанные с полем жидкой углекислоты биосферы.

Прежде всего надо определить наличие газообразной углекислоты на глубинах, точно изучить ход ее содержания на глубинах 300–500 и 730–900 м.

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ См., например, новейшие сводки; Martonne E. de. *Traité de géogr. phys.* 4 éd. I. P. 1925; Supan A., *Grundz. d. phys. Erdkunde. Her. v. Obst.* 7. Aufl. I.B. 1927; Report of the Committee on oceanography of the Nation. Acad. of Sc. by H. Bigelow. W. (1929); Harvey. S. *Sea Water.* C. 1929.

² Составляет 2-й том моей «Истории минералов в земной коре».

³ Здесь и дальше я буду говорить о морской воде вообще – морской и океанической.

⁴ По-видимому, некоторое растворение есть, но явление не изучено.

⁵ Эта часть вещества, захваченного организмами, вообще учитывается в их составе. Ее масса неизвестна. Ее учет – количественный и качественный – поставлен в числе задач нашей Биогеохимической лаборатории. Недостаток оборудования не позволяет нашей лаборатории приступить к выяснению этой важной проблемы так, как этого требует сейчас научная мысль.

⁶ По указанию К.М. Дерюгина.

⁷ Martonne E.M., *Chevalier A. et Cuénot L. Traité de géogr. phys.* 4 éd. 111. P., 1927. P. 1344.

⁸ Vernadsky W. *Geochemie in ausgew. Kap.* L. 1930. P. 205.

О ХИМИЧЕСКОМ ЭЛЕМЕНТАРНОМ СОСТАВЕ РЯСОК (*Lemna*) КАК ВИДОВОМ ПРИЗНАКЕ*

Доложено в ОМЕЖ 31.01.1931

Значение химического элементарного состава организмов не оценено биологами в систематической и филогенетической работе. Очень распространено мнение, что зольный состав растений подвержен чрезвычайным колебаниям и зависит только от экологических и почвенных условий. Сколько нам известно, никто не пытался путем систематических анализов установить, насколько вообще химический состав организмов может быть характерным для данного вида организмов, подобно его морфологической структуре, насколько он постоянен в среднем, колеблясь в строго определенных пределах. Между тем ряд фактов свидетельствует о консервативности химического состава в пределах определенных таксономических единиц биологов. Можно указать на давно известный факт постоянства состава, например, зерен, по крайней мере в тех же пределах, как постоянно их морфологическое строение. Для животных организмов¹ достаточно полных анализов не имеется, но порядок распространенности для большинства химических элементов, находящихся в организмах данного вида, рода и т.д., всегда сохраняется один и тот же.

Изучение биогеохимических явлений ясно указывает, что химический элементарный состав должен являться важным систематическим признаком для линнеевских видов и подвидов, для чистых линий, для элементарных видов (жордановых) и т.п. Только недостаток количественных аналитических данных не позволяет сейчас точно разобраться в этом явно очень важном явлении. Аналитические данные для организмов крайне неполны и случайны и охватывают едва лишь сотые доли процента всех известных видов организмов². С другой стороны, количественные определения касаются обычно немногих – десятка – химических элементов. Данные обычно не отнесены к живому организму – к среднему его весу.

Надо думать, что, являясь вполне равноценным другим признакам, как-то морфологическим и физиологическим, химический элементарный состав организмов представляет в то же время особенности, придающие его установлению особую важность. Прежде всего важно то, что он определяет виды и т.п. *числами*. Химический элементарный состав связывает явления жизни с историей и строением атомов³. Он же непосредственно показывает то место в общей миграции химических атомов в земной коре, которое данный морфологически определенный вид в ней занимает. Совершенно естественно поэтому, что изучение химического элементарного состава организмов приобретает для геохимии чрезвычайное значение в выяснении механизма биосферы. Судьба организмов материально связана и может быть количественно охарактеризована на фоне изменения биосферы и законов миграции ее атомов.

* Опубликовано в: ДАН СССР. 1931. № 11. С. 148–152 (совместно с А.П. Виноградовым).

¹ Сводка данных для морских организмов А.П. Виноградова будет напечатана в Трудах БИОГЕЛ, т. 3.

² Вернадский В.И. Химический состав живого вещества. Пг., 1922; Он же // Тр. БИОГЕЛ. Л., 1930. Т. 1. С. 1 и сл.; Виноградов А.П. // Зап. Физ.-мат. в. І дд. ВУ АН IV.5.К.1930, 357.

³ Вернадский В.И. // ДАН-А. 1931. С. 137.

Химический элементарный состав видов *Lemna*, % веса живых организмов

Элемент	Название вида															
	<i>Lemna polyrrhiza</i>						<i>Lemna minor L.</i>						<i>Lemna trisulca L.</i>		<i>Lemna gibba</i>	
	Петергоф		Киев		Киев		Петергоф		Киев		Киев		Петергоф		Киев	
	1. 1928	2. 1929	3. 1929	4. 1928	5. 1929	6. 1928	7. 1928	8. 1928	9. 1929	10. 1929	11. 1929	12. 1929				
H ₂ O	91,15	93,10	91,47	92,75	91,84	93,6	92,10	88,79	88,82	91,60	93,71	92,74				
C	3,85	4,20	4,20	5,55	2,85	2,71	3,19	5,60	5,16	4,31	2,30	2,86				
N	3,1 · 10 ⁻²	2,6 · 10 ⁻²	3,0 · 10 ⁻¹	2,36 · 10 ⁻¹	2,1 · 10 ⁻¹	3,10 · 10 ⁻¹	3,1 · 10 ⁻¹	—	4,6 · 10 ⁻¹	3,1 · 10 ⁻¹	3,1 · 10 ⁻¹	3,8 · 10 ⁻²				
H	10,19	—	—	—	—	—	10,88	—	10,61	—	—	11,0				
O (по разн.)	84,15	—	—	—	—	—	84,80	—	82,71	—	—	84,60				
K	3,1 · 10 ⁻¹	2,9 · 10 ⁻¹	2,1 · 10 ⁻¹	2,3 · 10 ⁻¹	—	2,4 · 10 ⁻¹	3,6 · 10 ⁻¹	1,9 · 10 ⁻¹	2,6 · 10 ⁻¹	2,7 · 10 ⁻¹	1,8 · 10 ⁻¹	3,2 · 10 ⁻¹				
Na	3,2 · 10 ⁻²	3,8 · 10 ⁻²	5,5 · 10 ⁻²	4,0 · 10 ⁻²	—	4,2 · 10 ⁻²	3,6 · 10 ⁻²	9,1 · 10 ⁻²	1,4 · 10 ⁻²	5,6 · 10 ⁻²	6,1 · 10 ⁻²	4,7 · 10 ⁻²				
Ca	1,3 · 10 ⁻¹	1,2 · 10 ⁻¹	1,8 · 10 ⁻¹	1,6 · 10 ⁻¹	—	—	0,9 · 10 ⁻¹	2,9 · 10 ⁻¹	1,8 · 10 ⁻¹	2,1 · 10 ⁻¹	5,0 · 10 ⁻¹	2,2 · 10 ⁻¹				
Mg	5,3 · 10 ⁻²	5,2 · 10 ⁻²	3,9 · 10 ⁻²	3,5 · 10 ⁻²	—	—	4,1 · 10 ⁻²	8,1 · 10 ⁻²	7,4 · 10 ⁻²	5,5 · 10 ⁻²	3,4 · 10 ⁻²	5,1 · 10 ⁻²				
Mn	1,4 · 10 ⁻²	1,8 · 10 ⁻²	1,4 · 10 ⁻²	—	1,4 · 10 ⁻²	2,9 · 10 ⁻²	2,2 · 10 ⁻²	1,4 · 10 ⁻²	4,4 · 10 ⁻²	8,8 · 10 ⁻²	2,6 · 10 ⁻²	1,1 · 10 ⁻²				
Fe	6,6 · 10 ⁻²	2,2 · 10 ⁻²	1,4 · 10 ⁻²	1,6 · 10 ⁻²	6,4 · 10 ⁻³	—	5,3 · 10 ⁻³	2,4 · 10 ⁻²	5,8 · 10 ⁻²	1,4 · 10 ⁻²	1,3 · 10 ⁻²	2,2 · 10 ⁻²				
Cl	1,2 · 10 ⁻¹	1,6 · 10 ⁻¹	1,5 · 10 ⁻¹	1,7 · 10 ⁻¹	1,1 · 10 ⁻¹	1,1 · 10 ⁻¹	1,3 · 10 ⁻¹	2,1 · 10 ⁻¹	0,9 · 10 ⁻¹	2,0 · 10 ⁻¹	—	3,1 · 10 ⁻¹				
P	4,8 · 10 ⁻²	5,6 · 10 ⁻²	6,4 · 10 ⁻²	—	6,9 · 10 ⁻²	5,1 · 10 ⁻²	5,7 · 10 ⁻²	2,5 · 10 ⁻²	9,1 · 10 ⁻²	6,2 · 10 ⁻²	1,7 · 10 ⁻²	6,9 · 10 ⁻²				
S	4,1 · 10 ⁻²	3,2 · 10 ⁻²	5,0 · 10 ⁻²	5,1 · 10 ⁻²	4,2 · 10 ⁻²	4,0 · 10 ⁻²	6,1 · 10 ⁻²	3,1 · 10 ⁻²	6,6 · 10 ⁻²	3,0 · 10 ⁻²	2,7 · 10 ⁻²	3,7 · 10 ⁻²				
Si	2,3 · 10 ⁻²	1,6 · 10 ⁻²	2,9 · 10 ⁻²	6,5 · 10 ⁻²	4,3 · 10 ⁻²	2,8 · 10 ⁻²	1,9 · 10 ⁻²	0,9 · 10 ⁻²	4,2 · 10 ⁻²	4,3 · 10 ⁻²	7,5 · 10 ⁻²	5,5 · 10 ⁻²				

Как химический состав организмов определяет генетически связанные с ним породы и минералы, так и обратно общие законы распространения и сочетания атомов в мертвой природе закономерным образом обуславливают состав живого вещества.

Основной вопрос постоянства состава организмов (в определенных пределах колеблющийся), насколько нам известно, экспериментальному исследованию не подвергался. Тут непочатое поле научной работы, нам кажется важное, не только для геолога, но и для биолога.

С 1926 г. было поставлено в Биогеохимической лаборатории и непрерывно ведется систематическое изучение в этом аспекте химического состава организмов по определенной программе. В первую очередь были поставлены растения суши. Мы остановились на семействе рясок *Lemnaceae*; во вторую очередь отнесены животные семейства саранчовых *Acridioideae*. В предлагаемой заметке мы даем первые результаты исследования рясок. Ряски – обычные организмы, встречающиеся всюду, часто разные виды вместе, в пресноводных водоемах. Изучались четыре вида – *Lemna polyrrhiza* L., *L. minor* L., *L. trisulca* L., *L. gibba* L. Так как сейчас установлена географическая изменчивость морфы, в ряде случаев выражающаяся и в изменении химического состава организмов (например, зерен злаков по содержанию белков, жиров, азота и т.п.), то сборы *Lemna* были произведены в двух различных местах, а именно в районе Петергофа (59°55' с.ш.) и в районе Киева (50°27' с.ш.). Здесь мы не останавливаемся на методике сбора, консервирования организмов и последующего детального химического анализа. Полное изложение работы намечено к напечатанию в ближайшем томе Трудов нашей лаборатории. В качестве предварительного сообщения мы ниже помещаем основные данные, полученные в результате анализов 12 образцов *Lemna* сбора последних двух лет, проведенных сотрудниками Биогеохимической лаборатории: М.П. Белой (2), Г.Г. Бергман (7), А.П. Виноградовым (5), Н.К. Воскресенской (1, 6), Т.И. Горшковой (3), Е.В. Кубовец (4), Л.Н. Подкопаевым (4), В.С. Садиковым (9), Н.В. Садиковой (8, 12) и И.Е. Стариком (II)¹.

Кроме 14 элементов, указанных в табл. 1, в *Lemna* был найден еще следующий ряд элементов, точное количественное определение которых потребует некоторого времени: Al, Ti, V, Ra, Sr, Ba, Rb, Cu.

Обращаясь к данным табл. 1 и 2, можно сделать следующее замечание. Существует различие в содержании воды для разных видов *Lemna*. Колебания, которые имеются для воды в пределах одного и того же вида, отражают скорее трудности определения вообще воды в организмах, чем действительные явления. Для водных организмов в определении воды особо трудно исключить моменты субъективизма. Но имеющийся материал за ряд лет позволяет все же точно наметить порядок видов по содержанию в них воды. Наиболее богаты водой *Lemna minor* и *L. gibba*. Наиболее бедна *Lemna polyrrhiza*, и еще более бедна *L. trisulca*. Неожиданно наметилось различие между видами *Lemna* по содержанию в них углерода. Все *Lemna* могут быть в этом смысле разделены на две группы: более богатые углеродом и менее богатые углеродом. К первой группе следует отнести *Lemna polyrrhiza* и *L. trisulca*, ко второй

¹ Цифрами указаны анализы, произведенные отдельными аналитиками. Анализ *Lemna trisulca* 1929 г. из Петергофа произведен несколькими лицами.

группе – *Lemna minor* и *L. gibba*. При анализах сухого вещества *Lemna* на углерод, как правило, организмы первой группы содержат соответственно его больше. Следует заметить, что содержание 2–3% углерода на живой вес *Lemna* является вообще среди других растительных организмов очень малым.

Содержание других химических элементов характеризуется прежде всего постоянством порядка, в котором они содержатся в пределах вида. Причем порядки нахождения всех химических элементов являются почти одними и теми же для всех видов *Lemna*. Не вдаваясь в подробную их оценку, что будет сделано позже, в общем можно сказать, что состав *Lemna polyrrhiza* и *L. minor*, судя по элементам «золы», очень близок, тогда как состав *Lemna trisulca* и *L. gibba* от них несколько отличен, опять-таки в своих колебаниях не выходя за пределы общих порядков нахождения того или иного элемента в *Lemnaceae*. Например, выясняется, что *Lemna trisulca* значительно богаче Mn, чем другие виды. Содержание Mn, как правило, является преобладающим над Fe у всех видов *Lemnaceae*.

Таблица 2

Химический элементарный состав видов *Lemna*, выраженный в % атомов

Элемент	<i>Lemna polyrrhiza</i>	<i>Lemna minor</i>	<i>Lemna trisulca</i>	<i>Lemna gibba</i>
	Петергоф, 1928	Петергоф, 1929	Киев, 1929	Киев, 1929
H	66,0	65,60	64,90	66,43
O	31,64	32,30	31,99	31,88
C	2,00	1,60	2,63	1,37
N	$1,4 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$	$1,54 \cdot 10^{-1}$
Ca	$1,9 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$4,9 \cdot 10^{-2}$
K	$4,8 \cdot 10^{-2}$	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$4,1 \cdot 10^{-2}$	$4,7 \cdot 10^{-2}$
Cl	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$5,2 \cdot 10^{-2}$
Mg	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,86 \cdot 10^{-2}$	$1,38 \cdot 10^{-2}$
P	$9,2 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,67 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$
Na	$8,4 \cdot 10^{-3}$	$9,4 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
S	$7,8 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$6,9 \cdot 10^{-2}$
Si	$4,9 \cdot 10^{-3}$	$40 \cdot 10^{-3}$	$8,9 \cdot 10^{-3}$	$1,13 \cdot 10^{-3}$
Mn	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$4,9 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
Fe	$7,2 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$

В качестве предварительных выводов мы можем сделать следующие заключения: 1) химический элементарный состав для отдельных видов *Lemna* мало или даже совсем не меняется, судя по данным, полученным в течение ряда лет; 2) химический элементарный состав характеризуется порядками нахождения отдельных химических элементов; 3) между отдельными видами *Lemna*, в свою очередь, намечаются видовые различия по химическому составу; 4) следующим шагом на пути изучения химического состава *Lemna* (и других организмов) в связи с их морфологическими признаками должно быть изучение элементарного химического состава для данного вида в течение цикла его развития.

О НЕКОТОРЫХ ОСНОВНЫХ ПРОБЛЕМАХ БИОГЕОХИМИИ

*В связи с работой Биогеохимической лаборатории Академии наук**

Автор определяет место биогеохимии среди других биологических наук и на основании современных интересов и задач, стоящих в смежных областях знания, устанавливает проблемы, над которыми должна работать руководимая им лаборатория биогеохимии при Академии наук СССР, и сообщает состояние работ лаборатории в настоящее время.

1

Биогеохимия, часть геохимии со своеобразной методикой и со своеобразными, своими, проблемами, сводится в конце концов к точному количественному, математическому выражению живой природы в ее неразрывной связи с той внешней средой, в которой живая природа имеет место. Живой организм получает при этом другой облик, чем какой он имел в биологии; он выражается в числах атомного или весового состава, в особых физических, количественно выраженных проявлениях занятого им пространства, в числовых энергетических выражениях производимой им работы в области жизни на нашей планете, в особой ее оболочке – в биосфере.

Жизнь в биогеохимическом аспекте есть живое вещество биосферы, т.е. совокупность всех живых организмов, в данный момент в биосфере находящихся. И сам живой организм, выраженный в числах, является новым, независимым выражением того же явления, которое изучает биолог в красочном, физиологически-морфологическом выражении бесчисленных форм жизни. Между ними надо и можно искать точных, научно выраженных соотношений.

В биогеохимии, как показывает и ее название, мы научно изучаем явления жизни в аспекте атомов.

Благодаря этому, мне кажется, мы можем в явлениях жизни по-новому подойти к ряду основных проблем жизни, с одной стороны, а с другой – связать биологические явления с науками об атомах, с той областью знания, которая отличает нашу эпоху от всех ей предшествующих. В этом основном отличии биогеохимии от других биологических наук лежит ее значение и ее интерес для биолога.

Мы можем сейчас определенно утверждать, что биогеохимия проникает до атомных свойств, а не только до свойств химических элементов, ибо можно изучать различное отражение жизни на разных атомах одного и того же химического элемента, разное ее отношение к его *изотопам*. Уже при первом охвате биогеохимических явлений можно было поставить эту проблему в таком аспекте, как возможную. Это было сделано мной, исходя из эмпирического обобщения научных фактов в нашей Академии наук в 1926 г., двенадцать лет тому назад, и проблема эта была тогда же включена в план нашей лаборатории. Теперь можно ставить эту задачу точнее и увереннее, ибо для водорода и для калия различие их изотопов в биохимических процессах можно считать установленным.

* Опубликовано в: Изв. АН СССР. ОМОН. Сер. геол. 1938. Т. 18, № 1. С. 19–34.

До сих пор изотопы в земной коре отличались в своих эффектах в радиохимических процессах – так была поставлена эта проблема и для жизни, для калия, физиологами Цвардемаакером в Голландии и Стоклаза в Чехословакии. Новые работы Брюера в Вашингтоне в 1936 г. доказали, что радиохимические процессы здесь ни при чем, так как оба изотопа калия (веса 39 и веса 41), отношение между количествами которых меняется жизненным процессом, не радиоактивны.

Поставленная нами в 1926 г. проблема никогда не сходила с поля зрения лаборатории, но обстоятельства не позволяли развернуть ее настоящим образом. В 1931 г. работы В.Г. Хлопина и М.А. Хлопиной-Пасвик доказали для зерен гороха, что в пределах точности химического определения атомного веса атомный вес калия из гороха остается неизменным, но они же отметили, что это не решает вопроса, так как отклонения могут быть меньшего порядка, не открываемые этой методикой.

Еще раньше в лаборатории была сделана попытка перейти к более чувствительной методике, но начавшаяся было постройка прибора Демпстера девять лет назад оказалась тогда для лаборатории непосильной. С переездом в Москву наше положение изменилось к лучшему, и открытие Брюера, применявшего улучшенный масс-спектрограф Демпстера, застало нас уже в работе над постройкой масс-спектрографов этой же и другой системы (Д.Д. Томсона) и над установкой определения изотопов сверхтонкой спектрографией атомов. Я надеюсь, что в ближайшие годы мы сможем двинуть эту проблему серьезно в достаточном охвате.

Вместе с тем через посредство моего сына, проф. Йельского университета в Нью-Хэйвене Г.В. Вернадского, мы получили сейчас нужный материал для проверки чисел Брюера, материал из тех же водорослей, гигантских водорослей *Macrocystis* из Тихого океана, над которыми работал Брюер, и выделяем теперь из него калий, который должен быть изменен жизненным процессом.

Я надеюсь иметь возможность в текущем же академическом году доложить результаты этой работы.

Общий вопрос стоит перед нами: является ли изменение атомного веса химического элемента жизненным процессом – уделом немногих химических элементов, каковы водород и калий, или это является общим явлением для всех организмов и для всех химических элементов? Не видим ли мы в этом биогенном изменении атомного веса одно из многих проявлений *резкого материально-энергетического отличия* живого и косного, которые выявляются во всех биогеохимических проблемах? К этому я еще ниже вернусь.

Решить это можно только опытом. Точно так же только опыт покажет, какую роль играет жизнь в тех колебаниях атомного веса химических элементов, которые только начинают выясняться в геохимических процессах земной коры и которые оставались до сих пор без внимания.

Это изучение, поскольку изменение атомного веса не связано с жизнью, не может являться нашей задачей. Это дело геохимиков. Лаборатория ограничивается изучением биогенного изменения атомного веса; на очереди стоят H, K, Mg, Fe, Zn.

Но мы не можем оставаться безучастными и к другой физиологической стороне этой проблемы в тех случаях, когда ее возможно ставить, к вопросу о механизме воздействия организмов на изотопические смеси элементов. Сами

этим заниматься мы не можем. Но раз по отношению к калию лаборатория будет иметь в своем распоряжении биогенный калий с другим атомным весом, то необходимо поставить изучение его жизненных свойств.

Важно выяснить физиологическую сторону явления и для растений и для животных. Мы надеемся для растений и микробов на помощь лаборатории Д.Н. Прянишникова; ведутся переговоры о совместной работе для животных с лабораторией акад. А.В. Палладина при Украинской Академии наук в Киеве. Материал биогенно измененного калия должен быть у нас до конца использован.

2

Огромная часть нашей работы связана с изучением не самих атомов, а химических элементов – изотопических смесей. В чисто химических процессах все изотопы одного и того же элемента проявляются одинаково. Поэтому, пока мы остаемся в области чисто химических процессов, можно химический элемент отождествлять, как это имеет место в периодической системе элементов, с атомом. На этом зиждется вся химия.

Исходя из этого общего положения, можно было установить работами нашей лаборатории, что атомный состав организмов является для растений и животных столь же характерным для них признаком, как их морфологическая форма или физиологическая структура, как их облик и внутреннее строение. Надо отметить, что элементарный химический состав живого организма одного и того же вида, взятый в разное время (в разные годы, в разных местах, например в Киеве или в Ленинграде), колеблется меньше, чем природная изоморфная смесь минералов, легко выражаемая стехиометрическими формулами. Состав разных видов рясок или насекомых более постоянен, чем состав ортоклазов или эпидотов из разных месторождений. Для организмов есть узкие пределы колебаний состава, но нет стехиометрических простых для них отношений. Организм не относится к химической среде пассивно; он активно создает свой атомный состав, стремится выбрать, сознательно или бессознательно, нужные ему для жизни химические элементы, но так как жизнь представляет поле динамических равновесий, то он отражает в себе – одинаково и в своем составе, и в своей форме – химико-физические разные свойства среды. Но эти колебания не меняют среднего мало изменяющегося их выражения.

Вид, установленный биологами, может быть характеризуем в весовых или атомных процессах столь же точно, как он может быть характеризован морфологическими признаками; он так же в определенных пределах колебаний может характеризовать однородное живое вещество – совокупность организмов одного и того же вида, расы, жорданона, как его характеризуют морфологические признаки. В средних числах количества атомов – химических элементов, – входящие в состав живого организма, столь же постоянны и для него характерны, как его формы, размеры, веса и т.п. Возможно, что в числовых соотношениях так выраженных живых существ найдутся такие же гармонические сочетания, которые так резко проявляются в красочности живой природы. Они должны проявиться, вероятно, в гармонических соотношениях чисел в ее естественных телах – в живых организмах, подобно тому как числовые отношения количественно гармонично проявляются в естест-

венных телах косной природы – в кристаллах и в минералах. Выяснить это – дело ближайшего будущего.

Наибольшая часть персонала лаборатории работает над этой проблемой элементарного химического состава организма. Я уже делал в Академии доклады об этой стороне работы лаборатории, идущей под руководством А.П. Виноградова. В V томе наших трудов, который сдается в печать в 1937 г., помещены новые числа – результат 8-летней работы.

Можно считать, что во всех до сих пор изученных случаях мы встречаем подтверждение основного принципа в биогеохимии, что числовые биогеохимические признаки являются видовыми, расовыми, родовыми признаками живых организмов. Пока, конечно, можно было это точно установить для десятков видов растений и насекомых. Но ясно уже, что это – общее явление. Соотношения не такие простые, как можно было думать. Очевидно, возникают вопросы, требующие биологического анализа. Я не буду, однако, сейчас на этой работе останавливаться, так как думаю, что сознание ее биологического значения сейчас не возбуждает сомнений для широких кругов натуралистов.

Надо только расширять и уточнять работу лаборатории. Мы захватили точной методикой сперва 18 химических элементов, сейчас мы можем количественно точно исследовать больше 60, а должны захватить все 92, если не больше. Ибо все яснее становится, что *живое вещество охватывает и регулирует в области биосферы все или почти все* химические элементы. Они *все нужны для жизни* и все попадают в состав организма *не случайно*. Нет особых, жизни свойственных элементов. Есть господствующие. Взятая же как целое жизнь охватывает всю систему земных элементов, вероятно оставляя в стороне лишь немногие, как, например, обычные изотопы тория, но, может быть, в разных изотопах захватывая их все. *Жизнь есть планетное явление* и определяет основным образом химизм, миграцию химических элементов верхней земной оболочки – биосферы, *миграцию всех химических элементов*. Количественное изучение такой миграции есть основная задача лаборатории.

3

Вот на этом планетном характере жизни, поскольку мы его кладем в основу научной работы лаборатории, я и хочу остановить на возможно короткое время ваше внимание.

Следующие общие положения, основанные на всей большой совокупности эмпирических точно установленных научных фактов, должны быть приняты за исходные.

1. Область жизни – *биосфера* не является для жизни бесструктурной, случайной земной поверхностью. Она не является ликом планеты, на которой возникла жизнь, по Э. Зюссю, или космической средой жизни, по Кл. Бернару. Биосфера не только лик земли и не космическая среда. Это *земная оболочка* точно определенного состава и строения, определяющих и обуславливающих все происходящие в ней явления, в том числе и явления жизни, морфологически отличная, но тесно связанная со *строением планеты*.

Ряд характернейших и основных геологических явлений устанавливает такой характер биосферы с несомненностью. Ее химический состав, так же как и все остальные черты ее строения, не случаен и теснейшим образом свя-

зан со строением и временем планеты и обуславливает наблюдаемую форму жизни.

Биосфера не является аморфной природой, бесструктурной частью пространства – времени, в которой изучаются и выявляются независимые от нее биологические явления; она обладает определенной, закономерно меняющейся во времени структурой, которая должна учитываться при всех научных выводах – учитываться в логике естествознания прежде всего, чего, как это ни удивительно, до сих пор не делается. «Природа» натуралиста есть только биосфера. Это нечто очень определенное и отграниченное.

Если называть эту структуру механизмом, то это был бы особый, очень своеобразный механизм – непрерывно меняющееся равновесие, динамическое равновесие, никогда не приходящее к точно тождественному в прошлом или будущем состоянию. В каждый момент времени – прошлого и будущего – равновесие иное, но близкое. Оно содержит столько компонентов, столько параметров, столько независимых переменных, что строго точное возвращение какого-нибудь состояния в прежнем виде невысказано.

Можно дать о нем понятие, сравнивая его с динамическим равновесием самого живого организма. В этом смысле удобно говорить об *организованности*, а не о механизме биосферы.

Биосфера может быть количественно точно выражена в атомах; она, как и живые организмы, имеет определенные границы, обусловленные, по-видимому, отсутствием условий существования жидкой фазы воды. Она простирается вверх до границ стратосферы, примерно на 20 км от уровня геоида, где вода во всех видах практически, а может быть и вообще, отсутствует, и вниз до 3–4 км под сушей, где прекращается жидкая фаза воды и начинает господствовать ее газовая фаза. В подземной ее области быстро начинает господствовать анаэробная жизнь. Под дном океана она, по-видимому, не идет глубоко. Но здесь наши знания ничтожны. Надо ждать фактов. Латентные формы жизни – в рассеянном инертном состоянии идут далеко за пределы биосферы вниз и вверх.

Химический состав биосферы резко отличен от химического состава земной коры, но он нам неизвестен со сколько-нибудь достаточной точностью.

Кларки биосферы другие, чем кларки земной коры. Их точное определение необходимо для ряда проблем, имеющих как научное, так и чисто практическое значение, которое далеко выходит за пределы проблем нашей лаборатории. Для их определения необходима совместная работа ее с другими научными учреждениями. Мы ставим сейчас как общую совместную задачу для ряда научных учреждений нашей страны создание в течение ближайших лет *таблицы кларков биосферы*.

Таблица кларков биосферы должна создать прочную опору для всей работы нашей лаборатории. Она же не менее необходима и для научно правильной постановки *учения о полезных ископаемых*.

Лаборатория входит в переговоры о совместном решении этой проблемы, беря часть работы на себя, с Ломоносовским, Геологическим, Петрографическим, Почвенным институтами Академии наук, Океанографическим институтом рыбного хозяйства, с Главной геофизической обсерваторией, с Радиевым институтом. Надеюсь, в ближайшее время состоится первое совещание в Академии.

2. Жизнь непрерывно и неизменно неразрывно связана с биосферой. Она от нее материально-энергетически неотделима. Живые организмы связаны с биосферой своим питанием, дыханием, размножением, метаболизмом. Можно количественно точно и полно выразить эту связь миграцией атомов из биосферы в живой организм и обратно – биогенной миграцией атомов. Чем энергичнее идет биогенная миграция атомов, тем жизнь интенсивнее. Она замирает или еле теплится в латентных фазах жизни, значение которых в организованности биосферы еще неясно, но не должно быть упускаемо из виду.

Биогенная миграция атомов охватывает всю биосферу и является основным, характерным для нее природным явлением.

В аспекте исторического времени – в пределах декамириады – ста тысяч лет – нет в биосфере природного явления геологически более мощного, чем жизнь.

3. В веществе и в энергетическом разрезе биосферы надо резко отличать три формы строящего ее вещества: 1) *вещество косное*, создаваемое вне прямого участия жизни, 2) *вещество биогенное*, какими являются, например, угли, нефти, большинство известняков и т.д., и, наконец, 3) *вещество живое* – совокупность рассеянных и отдельных живых организмов.

Преобладающая масса, весь остов биосферы, состоит из *косного вещества*, в котором по весу и по числу атомов силикаты, алюмосиликаты и их аналоги резко преобладают. Они составляют *остов биосферы*. Масса *биогенного вещества* для биосферы составляет несколько процентов – много больше десятка, вероятно, больше двух-трех десятков процентов по весу.

Мы возвращаемся здесь к совершенно другой научной обстановке – к натурфилософской идее Ламарка о материальном планетном значении жизни. Допуская биогенное создание того проявления материи, которую мы называем теперь химическими элементами, Ламарк считал, что самое вещество нашей *планеты* создано жизнью. Мы должны – это забывают – учитывать это, говоря о представлениях Ламарка, об эволюционном процессе жизни. В его натурфилософских представлениях, было для биосферы, а не для планеты большое зерно научно-точного понимания, охваченное и скрытое, однако, в неясной философской интуиции, в ее тумане.

Живое вещество, в данный момент времени существующее в биосфере, едва ли превысит при весовом количественном учете биосферы *несколько десятых долей процента по массе*. При составлении кларков биосферы пересчет массы живого вещества и критическая оценка его явятся задачей нашей лаборатории.

Основное геологическое значение этих кажущихся малыми в биосфере масс вещества, охваченного жизнью, связано с их исключительно мощной энергетической емкостью.

Это не имеющее ничего ему равного в веществе планеты – не только в данный момент времени, но и в аспекте геологического времени – свойство живого вещества совершенно выделяет его от всякого другого земного вещества и заставляет резко отличать живое вещество от косного вещества планеты, тем более что все живое получается из живого же. Связь между ним и косным веществом биосферы, непрерывная и материальная в течение геологического времени – порядка миллиардов лет, поддерживается исключительно биогенной миграцией атомов. Абиогенез неизвестен ни в какой форме его

проявления. Практически натуралист не может не считаться в своей работе (даже если он с этим не мирится, исходя из своих религиозных или философски-религиозных посылок) с этим эмпирическим и столь точным выводом из научного наблюдения природы.

В научной работе натуралиста, наблюдателя живой окружающей его природы – биосферы – никогда не возникает сомнения, имеет ли он дело с живым или косным естественным телом. Резкое и коренное материально-энергетическое их различие, можно сказать, пропасть, их разделяющая, бросается в глаза.

Мне кажется, впервые в истории научной мысли в фильтрующихся вирусах мы сейчас столкнулись, однако, с явлением, где мы не можем точно – и, несомненно, пока – решить сразу, имеем ли мы дело с проявлениями здесь живой или косной природы, живого или косного вещества.

Ближайшее будущее решит этот вопрос. В этом глубокий научный и философский интерес той научной работы, которая сейчас в этой области происходит. Но то или иное ее решение не изменит картины природы, которая открывается перед нами в области геохимии и биогеохимии, как открытие распада атомов, непостоянства их веса не колеблет законов химии.

4

На существовании такой структуры биосферы – непроходимой, резкой материально-энергетической грани между живым и косным ее веществом – строится вся работа лаборатории.

Необходимо на этом остановиться, так как, мне кажется, в этом вопросе существует неясность мысли, которая мешает научной работе.

Мы не выходим здесь из точного эмпирического наблюдения, выводы из которого для ученого, да и для всех, *обязательны* и на котором он не только может, но и должен строить свою работу. Они могут, может быть, объясняться различно, но в форме здесь высказываемого эмпирического обобщения они должны в науке учитываться, ибо эмпирическое обобщение не есть ни научная теория, ни научная гипотеза, ни рабочая гипотеза. Это обобщенное выражение научно установленных фактов, логически столь же обязательно, как сами научные факты, если оно логически правильно сформулировано.

Резкое материально-энергетическое отличие живых организмов в биосфере – живого вещества биосферы – от всего другого вещества биосферы проникает всю область явлений, изучаемых в биогеохимии.

Возможно, это подлежит проверке и изучению, но это изучение не может быть нами отброшено, так как оно вытекает из всей совокупности биогеохимических фактов, что среди характерных и свойственных только живым телам явлений, резко отличающих их от тел мертвых, есть одно, которое выделяется по своей глубине и по значению (и по своей малой изученности) и которое в дальнейшем может в работе нашей лаборатории занять особое, господствующее положение, но к которому мы сейчас можем только подходить.

Это – явление, открытое больше 70 лет тому назад Л. Пастером, имевшим предшественников, например Бешана, и неудачно названное им *диссимметрией*. Пастер был первым, кто понял и выразил его основное значение. Он его резко отделил, но другие проблемы отвлекли его от работы в этой области. Лет через 20 после к ним подошел П. Кюри, который погиб, не только не ус-

пев обработать свои в этой области достижения, но даже не успев их окончательно сформулировать.

Он в последних своих изысканиях определил эти явления, мне кажется, глубже, чем Пастер, указав и логически ошибки Пастера. Кюри указал на связь диссимметрии с термодинамическим и биохимическим полями жизни, с *объемом организма*, с занятым им пространством, он указал на особое, *диссимметрическое состояние* этого пространства, состояние пространства в биосфере, свойственное *только живым существам*.

Проявлением диссимметрии Пастера и особого состояния пространства жизни Кюри является и давно – тысячелетия – всем известное в нашем быту явление, только начинающее охватываться научной мыслью, явление *правизны и левизны*. Оно состояло до сих пор вне логического, математического и философского анализа, хотя явно связано с глубочайшими научными проблемами.

В этом отношении оно разделяло и разделяет участь и того основного охвата реальности, которое отвечает учению о *симметрии* в рамках которого шла мысль и Пастера и Кюри. Экспериментаторы – физики и химики – только на наших глазах начинают сознавать значение учения о симметрии.

Этой недостаточной логической, математической и философской обработкой и явлений симметрии, и явлений правизны – левизны (диссимметрии) чрезвычайно затрудняется наша работа. Но в резком отличии – материально-энергетическом – в биосфере живого вещества от вещества мертвого или косного явления правизны и левизны занимают такое значительное место, может быть основное, что в биогеохимии мы не можем, несмотря на это, их обойти и оставить в стороне.

В явлениях, подчиненных законам симметрии, диссимметрия выражается неравенством количественных и физико-химических проявлений правизны и левизны, причем в таких явлениях *процессы необратимы*, так как диссимметрическое пространство характеризуется *полярными векторами*. Ими будет выражаться и время. *Полярный вектор времени как раз характеризует необратимость процесса во времени*. В косной природе, в ее естественных телах – в кристаллах природных и искусственных – неравенства правых и левых явлений нет. В кристаллах, выделяемых в жизненных процессах, оно выражено резко.

В физико-химических равновесиях наших лабораторий и в тех природных, где жизнь отсутствует, правые и левые химически подобные компоненты действуют одинаково; как и следует из законов симметрии, они химически идентичны. В биохимических процессах, идущих, например, в протоплазме, неравенство правого и левого компонента одного и того же рацемического соединения выражается резко и может быть количественно и качественно прослежено до конца. Здесь начата уже в связи с нашей лабораторией работа Г.Ф. Гаузе.

Изучение диссимметрии в проблематике нашей лаборатории стоит у нас на очереди, но мы сможем к нему приступить только в будущем году.

Однако нельзя закрывать глаза на то, что, может быть, прав был Пастер, который видел в изучении этих явлений путь для решения важнейших биологических проблем; в них он искал возможности искусственного создания жизни.

Несомненно одно. Анализ даже современных, столь неполных и несовершенных наших знаний показывает, что к диссимметрии приводят, с ней связаны некоторые из основных отличий живого от мертвого, некоторые основные проявления жизни в биосфере. Чем больше углубляется наша работа, тем больше перед нами это выявляется.

Уже для Пастера было ясно, что диссимметрия может происходить в своих проявлениях только от причины, обладающей такой же диссимметрией, но логически глубоко это вывел Пьер Кюри, и можно выразить этот вывод как особый *логический принцип*, определяющий существование жизни в биосфере. Можно назвать его принципом *Пастера – Кюри: диссимметрическое явление вызывается только такой же диссимметрической причиной*.

Отсюда логически следует, что живое в биосфере будет всегда происходить только от живого; из диссимметрии может быть, таким образом, логически выведено то великое эмпирическое обобщение 1668 г., которое было мною названо принципом Реди, его впервые выявившего: все живое рождается от живого. Из диссимметрии логически вытекает и другое важное явление, а именно то, что динамическое равновесие, связанное с жизнью, *не может быть и в своих физико-химических следствиях сведено на обратимые процессы*, так как вектор в диссимметрическом состоянии пространства всегда полярен.

Логически может быть выявлен и третий вывод, характерный для явлений жизни в биосфере, – вывод, что в *ограниченной определенной области, резко отделенной от остальной части планеты, в особой земной оболочке, которой является биосфера, характеризующаяся необратимыми процессами, жизнь будет увеличивать, а не уменьшать с ходом времени свободную энергию этой оболочки*.

5

Я не буду здесь останавливаться на дальнейшем анализе понятия и значения диссимметрии. Я хотел только обратить внимание наших научных работников на огромное значение явлений диссимметрии, так мало охваченных научной мыслью. Наша лаборатория вступит на путь изучения этих явлений неизбежно, и я уверен, что мне будут даны для этого материальные возможности.

Но это большая и трудная задача; недаром она в течение уже двух или трех поколений не сдвигается с места. Она требует совместной работы различных специалистов – физика, биолога, биофизика, физико-химика, математика. Она должна быть поставлена в *аспекте геологическом*.

Мне кажется, не будет с моей стороны злоупотребления вашим временем, если я с этой же целью – обратить внимание на заброшенную область знания величайшей, по-моему, важности – вкратцеведу те, как мы сейчас увидим, огромной важности материально-энергетические явления, которые резко и бесповоротно в биосфере в течение геологически длительного времени – не меньше двух-трех миллиардов лет – отличают живое вещество биосферы от ее лишенной жизни материи. *Связь между ними существует только в форме биогенной миграции атомов*.

Это:

1. Особое физико-геометрическое состояние пространства, занятого живым организмом (диссимметрия Пастера)¹.

¹ Изменено при публикации в феврале 1938 г. доклада, прочитанного в декабре 1936 г.

2. Связанный с этим абиогенез – живой организм происходит в биосфере только из живого организма.

3. Связанная с этим необратимость явлений жизни.

4. Связанное с этим – в пределах биосферы – в результате жизненного процесса накопление свободной энергии. Биосфера в ходе геологического и исторического времени становится все активнее. (Я вернусь к этому явлению в другой раз.)

5. Заселение биосферы жизнью совершается путем размножения, проявляющего давление на окружающую среду и регулирующего *биогенную миграцию атомов*. Его нет в мертвом веществе. Размножением создается в биосфере накопление свободной энергии, которую можно назвать *биогеохимической энергией*. Она может быть точно измерена.

В лаборатории мы не приступали систематически к работе над биогеохимической энергией, так как ясно, что эта проблема является более биологической, чем химической. Она требует особой научной организации, так как огромный биологический материал, к ней относящийся, не систематизирован и не собран, разбросан, теряется и целесообразно не собирается. Прежде всего должно быть приведено в доступную для научной работы форму уже известное. Должна быть предварительно создана возможно полная, непрерывно действующая картотека *по размножению организмов и заселению ими биосферы*. Обе проблемы неотделимы.

Они должны заключить все имеющиеся, точно установленные количественные данные, необходимые для вывода констант биогеохимической энергии. Лаборатория незадолго до переезда в Москву подходила к организации такой картотеки в Ленинграде. Сейчас мы ведем переговоры с биологами в Москве о ее создании здесь в связи с лабораторией, но от нее отдельно. Она должна обслуживать нас и биологов.

6. Теоретически можно вывести характерную и постоянную для каждого вида организма *скорость заселения им биосферы* (величина v). Эта скорость имеет пределы, которые количественно обуславливаются: 1) размерами биосферы, т.е. в конце концов *планеты*, 2) минимальными размерами организмов, связанными с *лошмидовским числом*, ограничивающим число организмов, могущих при наличии их дыхания находиться в кубическом сантиметре пространства.

7. Скорость заселения и размножения обратно пропорциональна величине организмов (обобщение А. Свиядецкого, 1794). Она достигает *максимальной, предельной в биосфере возможной величины*. Но жизнь обладает удивительной приспособляемостью, и могут существовать *формы жизни взрывчатого характера*, большую часть своего существования находящиеся в латентном состоянии. Эти формы по величине биогеохимической энергии превосходят величину v , известную для обычных проявлений жизни.

Вся биосфера охвачена жизнью, захватывающей все ее пространство. Заселение биосферы жизнью имеет полную аналогию с распространением газа в ограниченном пространстве. *Жизнь, как и газ, выявляет давление в среде, куда она проникает,*

8. Каждый живой организм обладает известной автаркией, он сам активно избирает из окружающей среды нужные ему химические элементы, мо-

жет быть, атомы. Это биогеохимическая и биохимическая, но не чисто химическая реакция.

9. Можно отметить многочисленные другие резко выраженные отличия живого вещества от косной материи биосферы. Я не могу на них останавливаться, но об одном все же скажу несколько слов, так как оно касается области явлений, недостаточно останавливающих на себе внимание натуралистов. Существует резкая разница в *темпе биогенной миграции химических элементов* по сравнению с миграцией элементов остова биосферы. Биогенная миграция резко выявляется в *исторически длительном времени*; она происходит в предельных случаях с быстротой порядка скорости звука – максимально возможного движения в материальной среде, не связанного с разрушением, с постоянной деформацией самой среды.

Миграция химических элементов в косной среде идет с исключительной медлительностью, она, как общее правило, выявляется только в длительности геологического времени, для которого относительное дление ста тысяч лет – одной декамириады – много меньше дления секунды в рамках исторического времени. В ряде случаев для главной массы биосферы, не затронутой жизнью, атомы недвижны в своем положении сотни миллионов, вероятно до двух-трех миллиардов, лет. Прямое сравнение состава природных объектов – живых и косных естественных тел – не может быть сделано без поправки на *скорость заселения*, на их биогеохимическую энергию. В пространстве, времени, в объеме, занятом живым организмом, не только *пространство* находится в особом диссиметрическом состоянии, но и *время* иначе проявляется, чем время биосферы.

В длении геологического времени биосферы жизнь выражается эволюционным процессом.

6

Особое внимание приходится посвящать нахождению в живых организмах *радиоактивных элементов*. Работа над ними ведется у нас с основания лаборатории. Установлено постоянное содержание в живых организмах сперва радия, затем его изотопа, мезатория первого. Выяснено, что эти элементы так же характерны – в своем количестве – для каждого морфологически физиологического выражения живого вещества, для каждого таксономического его выражения, как и другие элементы. Это, конечно, совершенно понятно и не могло возбуждать сомнений, но в данном случае – избирательной концентрации живыми организмами радиоактивных элементов, центров излучения огромной действенной энергии – исследование это получает особое значение.

Очевидно, выбирая радиоактивные элементы, организмы используют их энергию. Для понимания глубины связи явлений жизни со строением биосферы, мне кажется, достаточно одного этого факта.

Работа лаборатории идет здесь, с одной стороны, в накоплении количественно выраженных фактов, а затем – в расширении охвата радиоактивных элементов.

Лаборатория доказала концентрацию организма не только радия, но и его изотопа, мезатория первого. Сейчас проф. В.И. Бариновым в течение года

уже ведется работа над нахождением *актиния* – область, совершенно не тронутая экспериментом и исключительно трудная.

Выявилось в работе сотрудников лаборатории, исходя из теоретически мной выведенных соображений, отсутствие в рясах *обыкновенного тория* (с точностью до 1%), причем другой изотоп тория – радиоторий *неизбежно* входит в организм как продукт распада мезотория первого.

Это явление дало возможность наработать новую методику определения *урана*. Вопрос об уране и о его нахождении в организмах – о количественном его учете – сейчас входит в план работы лаборатории.

Оказалась возможность идти глубже и поставить по методике В.И. Баранова вопрос о *месте концентрации* отдельных радиоактивных атомов в живом организме, в клетках и в связи с морфологией клетки.

Работа должна дать ясную картину не только концентрации радиоактивных элементов, но и количественного учета получаемой данным живым организмом тепловой энергии и характера ее использования в связи с его биологической характеристикой.

Уже получаемые результаты ясно указывают на правильность пути, нами избранного. Сейчас технические трудности замедляют нашу работу уже целый год, но это временная задержка.

7

Среди отдельных более частных работ лаборатории я считаю необходимым отметить еще одну – о *биогеохимической роли* кремния и алюминия. Дело в том, что в до сих пор собранном научном материале не было никаких точных данных для выявления того биогеохимического процесса, которым собираются огромные массы биогенных кремниевых и, по-видимому, алюминиевых минералов. Мы только знаем, что как и сейчас, так и в прошлые геологические эпохи существуют и существовали кремниевые и богатые кремнием и алюминиевые и богатые алюминием организмы.

Биогенная миграция этих элементов явно имеет исключительное значение, ибо эти два элемента преобладают в биосфере. Ход их миграции, можно сказать, только намечен.

Ввиду особого значения этих процессов, так как они должны играть в биосфере исключительную роль, я после ряда напрасных попыток вызвать их исследование в другом месте организовал изучение одной из проблем в нашей лаборатории – разложение каолиновых глин, каолинового комплекса, диатомовыми и бактериями. Работы успешно ведутся уже год А.П. Виноградовым и Е.А. Бойченко.

По-видимому, выветривание алюмосиликатов в природе – в почвах и в илах – связано с одноклеточными растительными организмами и является частью огромного процесса, имеющего первостепенное значение для растительного покрова суши и для геохимии моря, где свободный алюминий, получающийся при биогенном распадении алюмокремневого комплекса, собирается в водорослях бентоса и где биогенные гидраты окиси алюминия должны скопляться.

В последнее время все больше накапливается фактов, которые вскрывают большую роль алюмокремневых комплексов – свободных алюмокремневых кислот и оксикислот – в почвах и в питании растений. Многое указывает, что

эти тела образуются биогенно в почвах же, что составляет характерную черту организованности биосферы.

Расширить эту работу в нашей лаборатории я не имею возможности. Дело почвоведов или геохимиков выявить ее до конца¹.

Мне кажется, она сейчас стоит на очереди дня, особенно в почвоведении. Рано или поздно, но, думаю, к ней придется приступить вплотную.

8

Живое вещество, изучение биогенных миграций атомов которого является основной задачей биогеохимии, несмотря на всю свою ничтожную массу по сравнению с биосферой – массу порядка десятых долей процента, в сущности, определяет всю химическую структуру биосферы. В конце концов оно приводит к созданию значительной части вещества биосферы; точнее мы не знаем какую, но, по-видимому, много больше одной четверти ее массы. В этой биогенной массе мы видим резкие отличия от остального косного вещества биосферы.

Надо различать здесь две формы биогенного вещества, во-первых, те, которые являются окончательным продуктом распада живого вещества, распада его до простых основных соединений. Сюда принадлежат продукты дыхания и биогенного распада – CO_2 , H_2 , CH_4 , N_2 , H_2O , H_2S . Живое вещество путем сложного процесса перерабатывается в конечные продукты простого состава, каковы указанные газы, или в твердые и остатки скелетов – опалы, карбонаты, железные руды, фосфориты. Они не всегда несут на себе ясные следы биогенного происхождения. Это возврат к неорганическим косным телам, частью исходным для живого вещества, – завершение цикла. Характерно, что коллоидные газы земли, с которыми мы вообще встречаемся в *биосфере* как с вадозными продуктами, *те же*, которые указанным путем создаются процессами жизни.

Прямые наблюдения и расчеты показывают, что атмосфера нашей планеты – газообразная часть биосферы – есть в подавляющей своей части продукт жизни. Можно говорить о *биогенном происхождении тропосферы* – для O_2 , H_2O , N_2 , CO_2 . Но весь режим газов биосферы, ее подземных атмосфер, где CO_2 , H_2O , углеводороды играют выдающуюся роль, генетически во всей биосфере связан с жизнью.

От этих биогенных минералов – газов и остова скелетов должны быть отделены те продукты умирания, ухода жизни, которые являются в твердом или жидком состоянии, те нефти, угли, асфальты, гумусы, которые играют такую огромную роль в культуре и из которых в значительной мере вырабатывается *новая форма биогенной миграции элементов – создаваемая человеческой техникой*. Техника действует в том же направлении, переводя эти продукты жизни – биохимических и биогеохимических реакций – в более простые соединения, в конце концов в газы и косные остатки, *частью создавая новые промежуточные формы материи*. Законы технической биогенной миграции элементов деятельности Homo sapiens те же, что и для других форм биогенной миграции.

¹ Нам удалось в 1937 г. поставить при содействии Института удобрений выяснение биогенного образования глин, процесс которого, по-видимому, идет в почвах.

Органические биогенные минералы резко отличаются от минералов, составляющих косный остов биосферы. Мы всегда можем убедиться в *их особом состоянии* и всегда можем отличить их от других минералов биосферы. Они имеют такие черты, которые отличают их от другой мертвой материи биосферы, которая, может быть, могла в некоторой своей части никогда не быть живой. Они *были* живыми, и это отразилось на их материальном составе и в определенных биогеохимических проявлениях – в их составе прежде всего.

Состав живых организмов в связи с огромным темпом биогенной миграции резко отличается от состава естественных продуктов остова биосферы. Они отличаются *количеством строящих их соединений*, исчисляемых сотнями тысяч, вернее, многими *миллионами*. Одно количество видов насекомых близко, вероятно, к 10 млн, из которых известны сейчас около 800 тыс. Во всяком виде есть множество своих собственных химических соединений. Это разнообразие химических структур есть проявление особой биохимической и биогеохимической энергии живого организма, биогенной миграции его атомов в биосфере, идущей в кадрах исторического времени – в секундах. Для минералов, оставляя в стороне минералы углерода, правильно выделенные Харичковым в особую группу – минералогию углерода, но, учитывая природные воды, в значительной мере создаваемые жизнью, мы не можем ожидать больше 4–5 тыс. видов. Это число увеличится, если мы примем во внимание углеродистые мертвые остатки организмов. Смерть сразу прерывает создание бесчисленного ряда химических соединений. И все углеродистые органические минералы при полной их расшифровке должны превзойти, может быть даже в несколько раз, все другие минералы – естественные тела косной материи.

Для нас в настоящий момент истории биологических наук важнее другое их свойство – проявление в них диссимметрии, нахождение в них следа былой жизни в виде проявления в них неравенства *правых и левых явлений*. Так, нефти содержат в подавляющем большинстве правые изомеры – их смесь, отделенную жизненным процессом от их левых изомеров. То же мы наблюдаем и в гумусах, в торфах, в углях. Методика, предложенная проф. Л. Руайе (Алжир), позволяет это констатировать не вращением плоскости поляризации света, как это делается для нефти, а *вращением фигур вытравления кристаллов*. И здесь, по-видимому, преобладает *правое вращение*. Работа над этим в ориентировочном порядке ставилась было в нашей лаборатории, но на этот год мы ее отложили. Однако к ней мы вернемся при ближайшей возможности, ибо с ней связаны вопросы, основные для биогеохимии углерода. Вероятно, все атомы углерода, находящиеся в биосфере, прошли в течение земного геологического времени, миллиардов лет существования биосферы, через живое вещество.

Однако для асфальтов вопрос еще не может считаться решенным. Связь некоторых из них с C и Hg требует исследования. Задача может быть решена путем фигур вытравления.

Я старался в этом докладе сделать ясным значение и интерес того нового пути, который привел к созданию Биогеохимической лаборатории.

Я глубоко убежден, что в этой области перед нами открывается путь исследования, даже основных следствий которого мы сейчас не можем пред-

видеть. Многие проблемы в биогеохимии, поднятые за последние годы, уже обратили на себя внимание, и основа нашего знания – новый фактический материал быстро накапливается работой, которая сейчас идет уже не только в нашей стране.

ЗАМЕТКА О ТИТАНЕ В БИОСФЕРЕ*

1. Работа Ш.Е. Каминской**¹ связана с большой проблемой, затронутой Биогеохимической лабораторией, и является, надеюсь, началом большого коллективного исследования, которое растянется на несколько лет. Она имеет своей задачей выяснение истории титана в живом веществе в связи с большим круговым процессом, который характеризует в земной коре его геохимическую историю.

Титан, один из 10–11 наиболее распространенных элементов земной коры, по весу и количеству атомов геохимически мало изучен. В земной коре он очень близко стоит к углероду по своей массе, количеству своих атомов и своей распространенности. Это второй после железа тяжелый элемент в первом десятке наиболее обильных элементов земной коры. Но в отличие от углерода и железа сейчас нет возможности точно и определенно выявить даже основные черты его геохимии. Не хватает фактов. И прежде всего необходимо их собрать. Не хватает точных фактов об условиях и формах его нахождения в земной коре – фактов геохимических, биологических и минералогических.

Факты могут быть быстро собраны нужным образом лишь тогда, когда будут даны руководящие представления, руководящие идеи о геохимической истории титана, в связи с которыми надо их искать.

Выявить эти идеи на основании недостаточного, но сколько можно полного существующего разрозненного материала и имеет своей задачей эта заметка.

2. Для титана бросается в глаза резкое различие его геохимической истории в биосфере по сравнению с другими земными оболочками.

Главная масса известных сейчас титановых минералов – их известно было пятьдесят – не образуется в биосфере²; многие в ней довольно неустойчивы, меняются, выветриваются; однако даже основные черты этого их изменения нам едва, очень неполно известны.

Однако ясно, что нет ни одного титанового минерала в биосфере, который выделялся бы в ней из водного раствора (как выделяются, например, кальциты и кварц)³. Вадозные минералы титана, находящиеся в ней, являются нерастворимыми соединениями, выпадающими, по-видимому, из солей, как гели, а не из обычных растворов, или связанными с псевдоморфозами⁴.

Из пятидесяти слишком титановых минералов нам известны только три-четыре, образующиеся в биосфере: окись титана – *брукит* и, вероятно, ру-

* Впервые опубликовано в: Труды Биогеохим. лаб., 1937. Т. 4. Публикуется по тексту: Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. С. 292–300.

** Здесь и далее см. примечания на с. 442.

тил⁵, *ксантитан* и *лейкоксен*⁶, содержащие только Ti, O, Al, H. Все это тела малоизученные, захватывающие меньшую часть атомов титана биосферы. Вернусь к ним позже (§ 7).

Главная масса атомов титана в биосфере и титановых минералов собирается в массивных и метаморфических породах, в ней находящихся, но образовавшихся не в условиях биосферы. Однако эта масса инертна и не входит в обычную геохимическую миграцию атомов титана биосферы.

Вадозная миграция атомов титана идет в поверхностных слоях почвы и коры выветривания, где сосредоточиваются окислы титана, ксантитаны и лейкоксены, в водных растворах и живых организмах.

3. За исключением вышеуказанных трех или четырех минералов, все остальные характеризуют более глубокие оболочки земной коры или образуются в связи с магматическими процессами, когда подвижные расплавленные и полурасплавленные алюмосиликатные массы проникают в верхние оболочки земной коры – биосферу и в метаморфические оболочки⁷.

Здесь можно резко различить две области образования соединений титана: 1) область метаморфических явлений и 2) область магматических явлений.

В каждой из них можно выделять области концентрации титана, условия, благоприятные для проявления его химической активности, это *сухие трещины* для метаморфических проявлений⁸ и *пегматитовые жилы* (*поля пегматитовых жил*) для магматических проявлений. Менее важны для магматических явлений *контактовые образования*.

В сухих трещинах реакции идут при преобладающем влиянии газовой фазы (H₂O, CO₂, H₂S); надо думать, что аэрозоли играют здесь важную роль. Концентрация титана происходит путем перекристаллизации вещества самой породы (стенок трещины). Мы имеем здесь проявление химических реакций, идущих при высоких температурах и больших давлениях в сложной газовой среде, в которой преобладают пары воды. Синтез минералов пока мало применялся для объяснения этих явлений. Как известно, многие основные минералы метаморфического генезиса (хлориты, хлоритоиды и т.п.) синтетически не получены.

Для титана преобладают простые соединения: окислы (рутил, брукит, анатаз), титаносиликаты (например, гранаты, сфены), титанаты (например, ильмениты) – те же, которые характерны для массивных и метаморфических пород; здесь они перекристаллизованы.

Здесь титан связан с кислородом (всегда во всех земных оболочках), с железом, кальцием, кремнием, реже с алюминием и магнием и т.д.

4. Гораздо более разнообразны – по числу и химическому характеру – титановые минералы пегматитовых жил: титанаты железа, титаносиликаты с титаном разной валентности (гранаты, сфены и т.д.) играют здесь большую роль. Но к ним присоединяются новые типы минералов, с новой ассоциацией химических элементов; в них входят элементы редких земель, Mn, Ba, Na, K (бенитоиды, нептуниты, астрофиллиты, ринкиты и т.д.). Многие относящиеся сюда минералы еще недостаточно изучены. Далеко даже не все минералы этого типа известны.

Наряду с ними наблюдаются здесь совсем новые семейства титановых минералов: титаноцирконаты (циркелит и т.д.), иногда содержащие воду

(оливейралит и т.д.), титаноуранаты и титанотораты (браннерит и т.д.), а также важная и своеобразная группа титанониобатов и титанотанталатов, нередко богатых ураном и элементами редких земель (бетафит, менделеевит и т.д.). Наконец, начинают выявляться титаноантимонаты, титанобораты и т.д.

Очевидно, именно здесь мы имеем область явлений, где химическая активность титана проявляется наиболее резко и в значительной мере определяет геохимические миграции химических элементов. Бросается в глаза резко выраженная способность окиси титана в этих условиях давать *комплексные соединения* с целым рядом разнообразных ангидридов (сложные титановые ангидриды и их соли). Химическая функция некоторых из этих тел, возможно, выявится при дальнейшем изучении иначе, чем она нам сейчас представляется. Химически эти минералы во многом загадочны, ибо химия титана недостаточно изучена и мало может сейчас помочь в охвате природных явлений.

Необходима новая точная систематическая работа над химией титана – работа анализа и синтеза, с одной стороны, биохимического исследования – с другой.

5. Главная масса титана сосредоточена в массивных и метаморфических породах. Здесь мы имеем резко выраженными свободные кристаллические его окислы – TiO_2 , титанаты, главным образом железа, и в меньших количествах – титаносиликаты, главным образом кальция, в которых титан частью принадлежит к изоморфному ряду кремния (сфены), частью – к ряду изоморфных рядов кремния и алюминия (шорломиты). Вероятно, это связано с характером застывания магм, может быть, с богатством кислородом или с температурой.

6. Таким образом, мы имеем для глубоких оболочек земной коры связи титана:

- 1) в метаморфической оболочке – с O, Ca, Si, Fe;
- 2) в магматической оболочке:
 - а) в массивных породах – с O, Fe, Si, Ca;
 - б) в пегматитах (геохимическая область титана) – с O, Fe, Ca, Si, элементами редких земель, с Zr, Nb, Ta, U, Th, Mn, Mg и т.д.

Пегматиты заключают по весу большую массу атомов титана; это область явной концентрации титана. Кларки концентрации⁹ отвечают десяткам, может быть, даже сотне. Но главная часть атомов титана находится в массивных, может быть в метаморфических породах.

Однако в пегматитовых жилах мы наблюдаем миграцию атомов титана, их концентрацию во время застывания массивов в легкоподвижной, богатой газами части магмы, привноса титана магмой.

7. От этих глубоких оболочек резко отличается *биосфера*. В ней – в ее вадозных минералах – титан связан только с O, H и Al (§ 2)¹⁰. Его химическая деятельность чрезвычайно ослаблена; связь с металлами, кроме алюминия, в общем прервана¹¹.

В верхней части биосферы, где сосредоточена масса живого вещества и резко выражены биогеохимические процессы, надо различать три типа выделений титана, его форм нахождения¹²: 1) вадозные минералы, 2) водные растворы, 3) живое вещество.

Явления рассеяния для титана не установлены.

8. Из вадозных минералов только два естественных тела, несомненно, выделяются в верхней части биосферы: титановокислые водные гели, может быть, гидраты *окси титана-лейкоксены* – и алюмотитановые гели, может быть, гидраты титано-алюминиевых кислот¹³ – ксантитаны.

Свободные окислы – TiO_2 – выделяются в более глубоких ее частях – в областях биогенного метаморфизма, но вне всякого влияния жизни.

9. *Лейкоксены* – землистые и зернистые, на вид аморфные минералы, белого цвета (слабо-желтого оттенка); они в некоторых случаях составляют значительную часть «глин» и «мергелей» геологов.

Ксантитаны – землистые массы светло-желтого цвета.

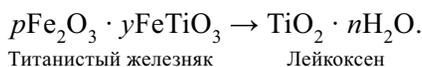
Аморфный характер лейкоксенов и ксантитанов определен с недостаточной точностью, иногда они явно кристаллические.

Из них за последнее время обратили на себя внимание *лейкоксены*, и, хотя мы не имеем для них ни одного количественного химического анализа и точного определения физических констант, их широкое значение в миграции атомов титана кажется мне несомненным.

Работы американских минералогов выдвинули их значение. Лейкоксены образуются часто распадением ильменита и переходят в брукит, может быть, рутил (Мак-Картней, 1932)¹⁴. Лейкоксен в пермских песчаниках Северной Америки (Оклахома) составляет максимально, по Л. Броуну (1928), до 0,78% по весу, по Ф. Койлю (1933) – около 1,0% породы. Эти первые определения ясно указывают, что титан концентрируется по сравнению со своим кларком в этих песчаниках в несколько раз больше, подобно тому как он концентрируется в почвах¹⁵.

Удельный вес лейкоксена¹⁶ около 4,17.

Совершенно необходимо систематически исследовать эти неизученные тела и перенести методику работ американских минералогов на наши осадочные породы¹⁷. Способ их образования не ясен; нередко это псевдоморфозы, в которых весь титан сохраняется в виде *лейкоксена*, например для титанистого железняка:



Очень вероятно, что реакция идет под влиянием вод, богатых CO_2 . В конечном итоге лейкоксены превращаются, по-видимому, в брукит или рутил, теряя воду¹⁵:



Можно думать, что, подобно α = кварцу (SiO_2) для силикатов, кристаллическая разность TiO_2 является самым устойчивым и неизменяющимся соединением в биосфере. Это изменение происходит при небольших давлениях и низкой температуре уже в песчаниках. Процесс и в этом аналогичен образованию кварцев из опалов¹⁸. Мак-Картней установил это явление для песчаников Индианы.

10. Еще менее устойчивы наши знания о *ксантитанах*.

Однако и здесь начинают выяснять геохимические области их концентрации. Это пустынные области, вероятно, особого характера. Но доказательства нахождения ксантитанов здесь всюду косвенные, например в продуктах

каолинового разрушения горных пород (заключающих 8% и больше TiO_2), не дающих никаких указаний на существование тяжелых титановых минералов. Пропустить их в этих условиях невозможно. Их отношение к действию кислот тоже необычное для окисей титана.

Морфологически эти титановые соединения совсем не изучены¹⁹.

Возможна концентрация ксантитана в почвах²⁰, может быть, в виде комплексных соединений еще более сложных, чем богатые водой титано-алюминиевые соединения.

Можно сейчас думать, что именно в виде титано-алюминиевых тел (гидратов или гелей) титан собирается во всех вадозных породах, богатых алюмосиликатами, их гидратами (вместе с лейкоксеном и окислами титана)²¹. В виде ксантитанов должен собираться титан в глинах, каолиновых глинах, в почвах, бокситах, латеритах, илах (?). Количество TiO_2 в этих образованиях часто превышает 1% и достигает 5,0%, в некоторых случаях – 10% и больше²². Часть этого титана может быть отнесена за счет примесей ильменита, рутила, сфена, т.е. кристаллов титановых минералов детритового характера, но нет никакого сомнения, что это очень распространенное объяснение *неверно*, не может отвечать всему явлению – очень важному в коре выветривания и, можно сказать, совсем научно не изученному. Обычно эти примеси в нужном количестве не находятся при проверке.

Лейкоксены и ксантитаны должны быть широко распространены в осадочных породах нашей страны – в песчаниках, мергелях, глинах, но никогда, сколько я знаю, не были они в нашей стране установлены. Их пропускают. В происходящем сейчас у нас широком научном изучении бокситов нельзя их оставлять без внимания. Вероятно, концентрация титана в бокситах связана с их генезисом. Точно так же могут они находиться в почвах. Не знаю ни одного исследования, которое поставило бы вопрос, вполне разрешимый при современной методике, о форме нахождения титана в почвах. Кроме организмов и водных растворов, вероятно²³, титан собирается в почвах в виде ксантитанов и лейкоксенов. Есть ли в почвах титаноорганические соединения?

11. Титан находится во всех, по-видимому, поверхностных водах, но его чрезвычайно редко в них количественно определяют. Количества его, точно определенные, не восходят за порядок $10^{-6}\%$ (вода озерная и др.)²⁴. Он концентрирован качественно в очень многих минеральных водах.

Этим кажется, и ограничиваются все наши знания. Определения титана в разных видах вод не делаются, хотя никаких особых методологических затруднений для его определения нет.

Можно, по-видимому, утверждать, что в водах его процентное содержание не превышает 10^{-5} , а обычно составляет $10^{-6}\%$ и меньше²⁵. Но этот вывод должен быть проверен.

Данные о нахождении титана в организмах указывают, как видно из сводки Ш.Е. Каминской, резко иной порядок нахождения титана по сравнению с концентрацией его в водах. *Организмы являются концентраторами титана*, ибо они берут его из водных растворов в первую очередь, возможно, даже исключительно.

С этой точки зрения особенно бросается в глаза необходимость количественного определения титана в почвенных и подпочвенных водах, ибо почва концентрирует титан. Необходимо поставить систематически количествен-

ное определение Ti также в дождевой, речной, озерной и морской водах. Эта работа будет нами поставлена в связи с его нахождением в организмах.

12. Концентрация титана в организмах ясно указывает, что титан нужен для организма, должен иметь определенные жизненно важные функции. Эти функции нам почти неизвестны. Хотя сейчас внимание исследователей все более направляется в эту сторону, но полученные до сих пор результаты не дают никаких достаточно определенных данных для суждения²⁶.

Биогеохимическую функцию титана пока надо искать, исходя из геохимических, а не физиологических данных.

В основу для этого удобно взять соотношение между концентрацией титана в организмах и водах. Титан не концентрируется в наземных водах. Он находится в них в резком несоответствии с его распространенностью. Кларк его концентрации здесь *отрицательный*²⁷.

Кларк титана в среднем составе земной коры максимально равен $6 \cdot 10^{-1}\%$.

Максимальное известное мне количественное определение Ti в поверхностной воде равно $6 \cdot 10_2^{-6}\%$, т.е. в ней кларк его концентрации будет 10^{-5} .

Отрицательным будет и кларк концентрации его в живых организмах, но для растительных организмов, которые берут титан из водных растворов, если мы примем максимальную известную его в них концентрацию, т.е. $6 \cdot 10^{-6}$, *кларк концентрации будет положительным по отношению к воде*. В определениях Ш.Е. Каминской для растений пока найдено максимально $2,0 \cdot 10^{-30}\%$ (*Lithothamnium* sp.), т.е. кларк концентрации по отношению к воде будет порядка сотен или даже тысяч.

Организмы – поскольку об этом сейчас можно судить и что прежде всего должно быть проверено и точно установлено – как бы выкачивают атомы титана из водных растворов и вводят их в метаболизм химических элементов в живом веществе.

Они не позволяют существования больших водных концентраций титана в биосфере, так как жизнь присутствует везде и стремится максимально, по массе и энергии, воздействуя на окружающую среду, проявиться всюду.

13. Но этим биогеохимические процессы в геохимической истории титана, вероятно, не ограничиваются.

Как указано (§ 8), титан легко выделяется из водных растворов в виде нерастворимых соединений, аморфных или коллоидных, всегда удерживаемых частичными силами в псевдоморфозах ксантитанов и лейкоксенов (§ 9). Важно выяснить отношение жизни к этим процессам: связаны ли они или нет с биогеохимической энергией.

Титан выделяется из водных растворов в виде ксантитанов и лейкоксенов, в осадочных породах, в условиях, где биогенные процессы господствуют (почвы) или где их значение вероятно, а в некоторых случаях несомненно (бокситы, глины).

Осадочные породы, в которых эти два семейства минералов найдены, частью являются продуктами наземного выветривания (латериты, бокситы, глины), частью – озерного происхождения (бокситы, «глины»), частью – морскими осадками («глины»).

В образовании латеритов, бокситов, глин, илов жизнь мощно участвует²⁸, хотя это участие не может быть точно и ясно выражено.

Можно дать условно как рабочую гипотезу, требующую проверки, следующую схему геохимических миграций титана в биосфере по отношению к первичным массивным и метаморфическим его находениям:



14. В связи с такой постановкой проблемы необходимо связать изучение нахождения титана в живом веществе с решением ряда геохимических и минералогических проблем, вытекающих из того или иного понимания биогеохимической роли титана.

Наиболее важным из них, первоочередным, представляется мне выяснение следующих данных:

1) точное минералогическое установление *ксантитанов и лейкоксонов* и их выявление в осадочных породах и вадозных минералах нашей страны, в почвах и илах;

2) количественное распределение титана в поверхностных и подземных водах биосферы, о чем уже говорилось (§ 11);

3) в связи с возможностью биогенного образования ксантитана и лейкоксона надо обратить внимание на некоторые бактерии, особенно ферробактерии и их разновидности, выделяющие алюминий. Таковы, по Джаксону²⁹ *Crenothrix ochracea* (*Leptothrix ochracea* Kutzing), дающие в осадках 33,3% Al_2O_3 ³⁰. Заключают ли они титан? Для ферробактерии имеются прямые указания на нахождение титана в их выделениях³¹. Необходимо систематически и количественно выяснять выделение титана в биохимических реакциях этих организмов.

Некоторые из этих вопросов выходят за пределы прямых задач нашей лаборатории, но было бы желательно, чтобы минералоги и почвоведы обратили на них внимание.

Основная работа нашей лаборатории пойдет по пути исследования распределения титана в живых организмах в связи с их морфологической структурой и в водах, где они живут или откуда они черпают нужные им химические элементы.

Во вторую очередь придется поставить вопрос о нахождении титана в алюминиевых железных биогенных образованиях.

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР, 1937. Т. 4. С. 227. – *Ред.*

² О необходимости раздвинуть ее пределы см.: *Вернадский В.И.* // Изв. АН СССР. ОМОН. Сер. геол. 1937. № 1. С. 3.

³ *Вернадский В.И.* // Почвоведение. 12. 1910. № 3. С. 257.

⁴ Образование псевдоморфоз, часто ложно связываемых с водными растворами биосферы, не может быть понято, если исходить из обычных представлений о растворах в коллоидной химии. Здесь необходимо сейчас применять и другие проявления физической химии и физики частичных сил. Было бы очень важно, чтобы весь вопрос о псевдоморфозах был пересмотрен с новой точки зрения, в связи с новой физикой и новой химией, так много дающими сейчас как раз в этих областях, где реакции идут под влиянием частичных сил и молекулярных свойств твердого тела, да еще неоднородного. Несомненно, здесь мы встретимся при этом с новыми явлениями, научно еще не охваченными. Такое исследование даст, конечно, новое и для физической химии, и для физики частичных сил.

⁵ Образование кристаллов TiO_2 в биосфере, по-видимому, происходит в более глубоких ее частях, может быть, в стратосфере. Термодинамические взаимоотношения между полиморфными состояниями TiO_2 вообще не ясны. Здесь не место на этом останавливаться (ср. § 7).

⁶ Удивительным образом эти два *главнейших вадозных минерала титана*, чрезвычайно, по-видимому, распространенные и играющие большую роль в его геохимической истории, совершенно оставлены без внимания и минералогами и геохимиками. В новой книге, например, у Форда (Dana E., Ford W.A. Textbook mineralogy. N.Y., 1932), пользующейся некоторым авторитетом и тесно связанной с превосходным трудом: Dana J., Dana E. System of mineralogy. N.Y., 1892 (трудом поколений ученых), ксантитан совершенно отсутствует, а лейкоксен отнесен к сфенам; это не тот лейкоксен, о котором здесь идет речь.

⁷ *Вернадский В.И.* Очерки геохимии. Л., 1934 [Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 1. С. 5–392. – *Ред.*].

⁸ *Вернадский В.И.* История минералов земной коры. Л., 1927. Т. 1, вып. II [Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1959. Т. 4. С. 301. – *Ред.*].

⁹ О кларках концентрации см.: Ферсман А.Е. Геохимия. Л., 1933. Т. 1.

¹⁰ Возможно нахождение Fe (Fe – трехвалентное, может быть, Ca).

¹¹ Al_2O_3 , так же как TiO_2 , всегда в земной коре является ангидридом. См.: *Вернадский В.И.* Очерки геохимии.

¹² О формах нахождения см.: *Вернадский В.И.* // Там же. С. 34 [Избр. соч.: В 5 т. М.: – Изд-во АН СССР, 1954. Т. 1. С. 43–44. – *Ред.*].

¹³ В молодости я делал опыты получения аналога силлиманита Al_2TiO_5 . Окиси титана и алюминия очень легко соединяются. Я вел тогда (1888 г.) синтезы в гессенских тиглях, но они быстро прорывались (в форкиньюновской печи), получался легкоподвижный в этих условиях сплав. Мне не пришлось позже вернуться, как я тогда хотел, к этой работе. В земной коре существуют, по-видимому, соли этих комплексных ангидридов: хедгомит, заключающий Ti, Al, Mg, Fe ... в контактах массивных пород, и улигит в нефелиновых сиенитах, заключающий Ca, Al, Ti, Zr. Формулы их не установлены. Кристаллы наблюдались. Эта область химии титана заслуживает внимания: синтез даст здесь, мне кажется, новое и важное.

¹⁴ См.: *Мильнер Г.* Петрография осадочных пород / Под ред. В. Батурина. М., 1934. С. 104–105; *Brown L.* // Amer. min. 13, 1928, 232; *McCartney G.M.* // J. sedim. petrol. 1, N 2, 1932; *Coil F.* // Amer. min. 18, 1933, 62.

¹⁵ *Вернадский В.И.* // Почвоведение. 1910. № 3. С. 255.

¹⁶ *F. Coil*, указ. соч., р. 65.

¹⁷ Ср. *Батурин В.* в добавлениях к *Мильнер Г.*, указ. соч., стр. 311.

¹⁸ Ср.: *McCartney G.*, указ. соч., 1932.

¹⁹ Ср.: *Вернадский В.И.* Минералогия. М., 1910. Вып. I; 1912. Вып. II.

²⁰ Ср.: *Caiser E.* Zs. Kryst., 58, 1923, 125; *А. Ферсман* // Материалы для изучения естественных производительных сил СССР, издаваемые комиссией при Академии наук. Л., 1926. № 59. С. 118; *Kaiser E.* Die Diamantenwuste Sudwest-Africas, Bd. 1, 1926. S. 244; Bd. II, 1926. S. 291; *Ферсман А.* Материалы Особого комитета по исследованию союзных и автономных республик. Вып. 1. Л.: АН СССР. 1926, с. 59; *Влодавец Н.И.*, там же, с. 45.

²¹ *Вернадский В.И.* // Почвоведение. 12. 1910. № 3. С. 257. (опечатка «ксантин»).

²² *Kaiser E.*, указ. соч.; *А. Ферсман.* Указ. соч.; *В.И. Вернадский.* Минералогия. Вып. II. С. 511.

²³ Rao T., (T. Rao, Min. Mag., 21, № 120, 1928, 421) дает для латеритов Индии 11,69 и 8,76% TiO₂. Ковар указывает для глин 10,06%; это – наибольшее число, приводимое Рисом (Ries H., Clays L., 1927. P. 145).

²⁴ Вернадский В.И. История природных вод. Л., 1934. Ч. 1, вып. II.

²⁵ Там же.

²⁶ В водных растворах природной серной кислоты в кварцевых песчаниках серных бугров Каракумов, согласно анализу Н.И. Влодавца (1926), должно заключаться значительно больше Ti. Водная вытяжка (час при комнатной температуре) дает воду, заключающую 4,50% H₂SO₄ (более продолжительное выщелачивание не меняет этого количества, вода сразу берет всю серную кислоту), при общем «твердом остатке», в который включено 4,50% H₂SO₄, равном 5,93%, содержит 8,20 · 10⁻²% Ti. Это, конечно, совершенно исключительные воды, но они все-таки указывают на существование особых концентраций титана в природных водах. Очевидно, что при высокой температуре пустынь летом процент Ti в природных растворах серной кислоты-воды О-S-H – должен быть еще более. См. числа: Н.И. Влодавец // Материалы для изучения естественных производительных сил СССР... № 59. С. 103 и сл.

²⁷ См. сводку: Billy M. Traite de chimie minerale publié par P. Pascal. P., 1932. Vol. 5. P. 528.

²⁸ Очевидно, это число (озерная вода) пока случайное; может быть, максимальная концентрация титана достигает порядка 10⁻⁵% и больше. (Тр. Конференции по генезису руд железа, марганца и алюминия, 1937).

²⁹ Вернадский В.И. Очерки геохимии. С. 131 [Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1954, Т. 1. С. 139–140.– Ред.].

³⁰ Jackson D. Trans. Amer. Microsc. soc., 23, 1902, 188. Cp. J. of Soc. chem. industry, 21, 1901, 681.

³¹ *Crenothrix kuhneina* – 5,7% Al₂O₃, *Crenothrix manganifera* – 1,5% Al₂O₃.

³² По Н.И. Влодавцу, в футлярах *Gallionella sp.* в старорусских минеральных водах – 0,27% TiO₂ (Б.В. Перфильев // Изв. Геол. ком. 1926. Т. 45. С. 812). Титан был ранее указан для железомарганцевых конкреций экспедиции Челленджера – 0,13% TiO₂. См.: J. Murrey, Renard G. Deep Sea Reports. Challenger report. L., 1891. P. 403.

О КОЛИЧЕСТВЕННОМ УЧЕТЕ ХИМИЧЕСКОГО АТОМНОГО СОСТАВА БИОСФЕРЫ

Доклад на объединенном заседании
Отделений геолого-географических и химических наук
31 октября 1939 г.*

I

1. Моей задачей является привлечь внимание геологов к проблемам химического состава биосферы. Конкретно геолог в своей геологической работе за пределы биосферы не выходит.

Состав биосферы, выраженный в весовых или в атомных процентах составляющих ее химических элементов, нам неизвестен. А между тем биосфера – это среда нашей жизни, та «природа», которая нас окружает. «Природа» различна в разных местах, очевидно, и состав биосферы в разных местах земной поверхности не одинаков. Но он различен закономерно, он зависит от геологического строения местности, теснейшим образом связан с геологической картой, с чем до сих пор не считаются.

* Впервые опубликовано: М.: Типолит им. Фрунзе, 1940, 32 с. В дальнейшем опубликовано в: Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. I. С. 543–569.

Связь с *геологической картой* заставляет обратить на эту проблему серьезное внимание геологов нашей страны, в работе которых прикладное значение *геохимии* с каждым годом приобретает все большее значение. Ибо состав биосферы, связанный с геологической картой, позволяет по-новому и более точно подойти к *правильному использованию и нахождению* химических элементов, т.е. полезных ископаемых, с их *концентрацией и с их рассеянием*.

Закономерности, здесь существующие, не выявлены, но ни один геохимик не сомневается в их существовании. Их надо выявить. Их нельзя быстро и точно установить, не зная атомного состава биосферы.

Это дело требует комплексной постановки исследования. Она недостижима для отдельных институтов и центров работы Академии. Поэтому я ставлю ее в соединенном заседании двух отделений – ставлю перед Академией.

Академия должна поставить ее со всей возможной глубиной, в таких рамках, которые позволили бы нам получить нужные знания в ближайший срок.

Надо получить эти данные в границах нашего государства, для биосферы нашей Земли.

2. Как я говорил, мы не знаем химического состава биосферы. Мы имеем о нем только некоординированные, очень неполные представления.

Знание в химии природных явлений должно быть выражено в числах и в геометрических образах, в аспекте времени. Только тогда, когда это сделано, мы сможем овладеть в нужной нам мере нужными нам для жизни химическими силами планеты.

Мы сейчас имеем ясное количественное химическое представление только о среднем элементарном составе так называемой *земной коры*, выраженном в атомных или в весовых процентах. Я вернусь к вопросу, что такое *земная кора* и какое отношение она имеет к *биосфере* (§ 3, 22).

Это знание сведено в таблицу, которую в нашей стране по инициативе А.Е. Ферсмана часто называют таблицей Ф. Кларка (1847–1931), и даже числа ее – *кларками*. Это имеет некоторое удобство, но едва ли это справедливо, и, мне кажется, широкое вхождение «кларка» в нашу геохимическую литературу, все увеличивающуюся, делает ее менее понятной, а следовательно, и влиятельной в мировой литературе, так как термин «кларк» непонятен вне нашей страны и объяснять его в каждой научной статье невозможно. Подобные новые термины должны в нормальных условиях приниматься на международных конгрессах. «Кларки» непонятны для англичанина, американца, француза, немца – для любого ученого вне нашей страны. Для нашей научной работы это невыгодно.

Конечно, Ф. Кларк, несомненно, завершил и усовершенствовал работу нескольких поколений до него, когда в 1889 г. он, исходя из территории Соединенных Штатов, углубил и расширил учет чисел и опубликовал свою сводку. Начало этой таблице было положено за 74 года раньше, после вхождения в новую химию представлений о химических элементах и атомах в начале XIX столетия. В 1815 г. английский минералог В. Филлипс (1773 – 1828) впервые попытался выяснить химический элементарный состав окружающей человека природы, верхней «земной коры». Он сделал это для 10 химических элементов, в общем правильно выяснив количественно порядок их распространенности. После него его числа несколько раз пересматривались, исправлялись – между прочим, и крупными учеными – де ля Беш в Лондоне, Эли де

Бомоном, Добрэ в Париже – и наконец систематически были переработаны Ф. Кларком и Г. Вашингтоном в Вашингтоне с 1889 по 1924 г. Самостоятельную работу здесь вел одновременно И. Фохт (в Дронтгейме в 1898–1916 гг.), который впервые распространил эти данные на нетронутые Кларком редкие элементы – многие металлы – и поставил задачей *охватить все элементы*.

С тех пор эта таблица непрерывно перерабатывается и уточняется.

Она стоит наряду с менделеевской таблицей атомных весов в геологической и в физико-химической работе.

В результате мы имеем таблицу точных дат, где числа выражены в атомных и в весовых процентах. На значение атомного подсчета вещества впервые указал В. Аккройд в Англии, работавший вне научных организаций в 1902 г., но ввел в геохимию молодой тогда А.Е. Ферсман в 1912 г., не зная о работе Аккройда. О нем напомнил Ф. Астон только в 1922 г.

3. Что же такое «земная кора» и что дают нам числа таблицы Филлипса–Кларка–Фохта? Какие отношения имеет биосфера к земной коре, а числа этой таблицы – к тем числам, которые мы ищем для биосферы?

Остановлюсь сперва на последнем вопросе.

Числа, получаемые для всей земной коры, не должны были бы резко отличаться в разных местах земной поверхности. Какую бы точку мы ни выбрали как исходную, мы, вообще говоря, должны были бы получить один и тот же – средний – результат. Благодаря относительной мощности земной коры – мощности в 16–25 км – биосфера, т.е. поверхность планеты, должна теряться, сглаживаться в химическом *среднем* составе земной коры, и ее ярко нам видное химическое территориальное различие не будет отражаться на получаемых нами цифрах.

Средний химический состав земной коры будет мало отличаться, будем ли мы его определять в богатом каменноугольном бассейне, например в Донбассе, в области соляных куполов Эмбы или в области кристаллических пород Украины.

Понятия земной коры и биосферы принадлежат к разным – логически – геологическим категориям. Понятие «земной коры» введено в науку из космогонических представлений, которые почти всецело господствовали, когда Филлипс давал свои первые числа, и которые мы сейчас должны считать ошибочными и ненужными.

Думали в это время, когда идеи Systeme du Monde Лапласа охватывали научную мысль, что наша планета была некогда расплавлена, и считали *земную кору за кору застывания планеты*.

В общем эти представления были еще живы, когда Кларк делал свои исчисления. Не Кларк смотрел глубже, и, мне кажется, он является одним из пионеров того течения мысли, которое сейчас только входит в геологию, сейчас охватывает геологическую мысль Американских Соединенных Штатов целиком, мировую – условно и которое до сих пор не может настоящим образом пробить рутину советской геологической мысли.

Франк Уиглсуорт Кларк, точный химик и минералог, экспериментатор и аналитик, – один из той плеяды ученых, которые в XIX в. клали основы точным числам «постоянных» – «констант» природы, на которых прочно стоит вся наука нашего времени, – был одним из тех новаторов мысли, которые в

химических природных процессах, в том числе земных и космических, искали проявления *эволюции вещества*.

Поэтому «земная кора» Кларка не имела и не могла иметь ничего общего с космогоническими гипотезами, с догеологическим существованием Земли и с ее корой застывания.

Он называл «корой» (и пытался определить ее состав) ту *толщу планеты* вглубь от земной поверхности, *откуда можно получить* для химического исследования конкретные *образцы* вещества – горные породы и минералы, иметь их в наших руках в биосфере.

Он на основании точного эмпирического анализа фактов пришел к заключению, в то время не противоречившему фактам, что вещество, которое мы встречаем вокруг себя (т.е. в биосфере), отвечает слою в 10 миль (т.е. 16 км) и что осадочные и метаморфические породы составляют 5% его по весу.

Господствуют массивные породы, и для территории Соединенных Штатов состав так определенной земной коры отвечает *составу гранитов, вернее, гранодиоритов*. Были сделаны попытки таких же подсчетов для массивных пород других стран: Финляндии – И. Седергольмом и Украины – Н.И. Безбородько, которые привели к близким, но не тождественным результатам.

Эти вычисления подтвердились и геологическими наблюдениями. С одной стороны, геологическое изучение окружающей нас доступной нам природы – биосферы – всюду, *на всех континентах*, выявило наличие или логически неизбежное существование гранитов под выходящими на поверхность породами, если мы сделаем логически правильные выводы из нашего знания геологического строения больших участков любой территории.

Имеется, однако, одно исключение из этого положения. Под Тихим океаном вдоль его берегов и на его островах гранитная (вернее, гранодиоритная) земная оболочка не проявляется. Она не проявляется ни путем изучения геологического строения, ни геофизическими методами исследования.

Изучение сейсмических волн позволяет уточнить это явление. Я вернусь к этому позже (§ 18). Здесь же только отмечу его.

4. Химический состав земной коры – таблица Филлипса–Кларка–Фохта – был учтен и использован не только геологами и геохимиками. Он был охвачен физиками и химиками в той огромной по научному значению работе, которая характеризует XX в. как век *научного атомизма*.

И из их работы выявилось значение эмпирического обобщения, каким является таблица Филлипса–Кларка–Фохта, далеко выходящее за пределы геологии, но не выходящее за пределы Земли как планеты.

Это научное обобщение было в ходе процесса создания научного атомизма нашего времени широко использовано и до сих пор углубляется изысканиями физиков, химиков, радиологов, астрофизиков. Оно оказалось тесно связанным с основными научными исканиями нашего времени – с атомным аспектом реальности.

Отчетливо выяснилось, что химический атомный состав земной коры *не есть случайное явление*. Он теснейшим образом связан с многообразными свойствами атомов в том физическом поле – прежде всего термодинамическом, – которому отвечает земная кора. Земная оболочка в таблице Филлипса–Кларка–Фохта количественно отвечает *земному проявлению атомов*.

Но она явно дает нам большее.

В результате астрофизических исследований, сейчас переживающих крутой подъем (под влиянием роста научной атомистики), выявилось (из работ прежде всего Ресселя и В. Пайн-Гапошкиной), что в поверхностных слоях звезд – Солнца в том числе – мы имеем отражение того же количественного атомного состава, который выражен в таблице Филлипса–Кларка–Фохта.

Мы видим в этом неожиданном явлении или проявлении не учитываемых нами физико-химических свойств атомов в условиях космической среды, или, что очень вероятно, это связано с существованием в длении геологического времени, может быть, в длении времени нашей Галактики, материального обмена между поверхностными частями космических тел, в том числе звезд и Солнца, и Землей – мирового процесса, непрерывно идущего миллиарды лет.

Такой материальный обмен между Землей и космическими телами существует и проявляется в газовом и пылевом между ними обмене, в падающих звездах, в космической пыли, в характере стратосферы и ионосферы, в метеоритах, может быть, в зодиакальном свете.

Это важное явление так мало изучено, что, считаясь с ним и не забывая его, мы пока дальше идти не можем.

5. Ясно, что *земная кора, взятая в химическом аспекте, представляет, по существу, явление логически другого, большего порядка, чем биосфера.*

Однако земная кора, взятая в целом, гранодиоритовая оболочка, ей химически в среднем отвечающая, генетически с биосферой связана, но связана сложно. Совершенно ясно, что то реальное значение, которое получила таблица Филлипса–Кларка–Фохта в науке, не только в астрофизике, но и в учении об атомах, на что указали химики и на чем я здесь не останавливаюсь, не может отвечать коре застывания расплавленной некогда планеты, которую создала математически выраженная космогоническая научная фантазия, а не научное эмпирическое обобщение. Она должна отвечать какому-то реальному большому *природному явлению*, проявляющемуся в нашей планете, свойственному не только одному нашему небесному телу, геологически длительному.

Я могу указать отвечающее ему земное явление только как *научную гипотезу*, которая может быть проверена в дальнейшем ходе научного знания.

Как такую гипотезу я выдвигаю представление о том, что *таблица Филлипса–Кларка–Фохта* дает нам *средний состав былых, измененных в ходе геологического времени биосфер*, выражает химическое проявление *наружной поверхности нашей планеты в ходе геологического времени*. Мы увидим в дальнейшем, что в «земную кору», состав которой определен таблицей, входит несколько геологических оболочек (§ 18) – биосфера, стратисфера, метаморфическая и гранитная оболочки. Все они когда-то в длении геологического времени находились на земной поверхности, были *биосферами*. Все они генетически между собой связаны, взятые в целом, представляют одно явление.

Стратисфера – оболочка осадочных пород – в значительной мере явно биогенного происхождения и находится почти всецело в области подземной жизни. Ниже лежащая *метаморфическая оболочка* в значительной степени состоит из измененных под влиянием давления и более высокой температуры осадочных пород. Уже в области метаморфических пород мы находим заморо-

дение очагов высокой температуры, приводящих в конце концов к магматическим расплавам.

С углублением в более глубокие слои число и значение очагов местами увеличиваются, и *опять-таки, местами же*, более глубокие метаморфические породы проникнуты инъекциями магматических, иногда расплавленных пород.

Нигде мы не встречаем сплошного слоя, облекающего всю планету, *расплавленной магмы*. В геологических разрезах мы не видим и следов былого существования такого явления на нашей планете. Наибольшими формами ее былого нахождения являются *батолиты гранитных пород*. Ничто не противоречит допущению их нахождения местами и сейчас в расплавленном виде на больших глубинах, нам недоступных¹.

6. Вся атмосфера и прилегающие к ней земные оболочки находятся в непрерывном движении, результаты которого становятся нам явными только в аспекте геологического времени.

Перемещение участков литосферы – суши, с одной стороны, и моря – с другой – характеризует окружающую нас природу. Тектонические нарушения в каждый данный геологический момент сосредоточиваются в определенных подвижных областях, которые мы можем изучать главным образом в законченных формах, – в геосинклиналях, в горных образованиях, в орогенах и т.д.

В результате орогенических процессов происходят вертикальные смещения земных твердых построений, которые нам кажутся грандиозными, но реально существующего движения которых мы в нашей обыденной жизни не замечаем. Каждое вертикальное перемещение резко меняет всю обстановку явления и сопровождается разнообразнейшими химическими перегруппировками. В результате Эверест подымается до 8,88 км над уровнем геоида, дно морское в 110 км на восток от Филиппин опускается на глубину 10,79 км. Размах движений достигает почти 20 км.

Процессы поднятий и опусканий по вертикали не прерываются ни на секунду; в области биосферы это явление особенно резко сказывается, так как здесь мы имеем для их выявления свободное, практически бесконечное, газовое пространство – *тропосферу*.

Денудация сглаживает все неровности суши, горы имеют предел своей высоты, непрерывно разрушаются, и в то же время из глубоких частей, глубже биосферы лежащих, непрерывно идут сложно-вертикальные смещения земных масс.

Я не могу входить в анализ этих всем нам известных явлений. Но мне необходимо подчеркнуть один вывод, который может быть сделан из всех этих непрерывно происходящих движений. Я должен его подчеркнуть, потому что сейчас господствует противоположное представление о сжатии Земли, т.е. уменьшении ее диаметра в длении геологического времени. Оно основано на космогонических представлениях, а не вытекает из данных научных наблюдений.

¹ Еще в 1934 г. я, считая возможным говорить о магмосфере, не считал возможным отбросить целиком вековые представления о расплавленной земной оболочке. Сейчас это представление явно теряет свою опору в данных и основанных на них представлениях, как геологических, так и радиологических.

Вывод этот можно выразить так: *средний верхний уровень биосферы – нижней границы тропосферы – не смещается от центра планеты в течение геологического времени.* Земля не расширяется и не сжимается в течение геологического времени, т.е. в течение двух миллиардов лет, со времени катархея по крайней мере. За все это время физико-географические условия планеты, ее биосфера в частности, оставались теми же в основном, какие мы наблюдаем теперь. Принцип актуализма мне представляется выражением реальности. На всем протяжении геологических явлений, научно нами охватываемых, мы видим на планете существование жизни, существование биосферы. Можно, мне кажется, защищать это утверждение как вывод из точного наблюдения в пределах двух-трех миллиардов лет. Биосфера все это время существовала, и, следовательно, температура, химические процессы, солнечные излучения не выходили из рамок сейчас наблюдаемого – геологические перемещения, реакции в биосфере глубоких частей планеты, процессы выветривания и метаморфизма были в общем те же. В геологии мы не видим – в пределах наблюдения – катастроф и резких нарушений устойчивости динамического уклада планеты.

Если они и были, мы пока никаких проявлений их в наблюдаемых явлениях не видим и можем оставить их в стороне в нашей работе.

Мы не видим в геологии ни начала, ни конца. Этот афоризм Д. Геттона господствует в нашем мышлении сейчас, как он господствовал в 1780-х годах, когда он был им высказан в Эдинбурге. Он даже для нас сейчас более понятен, чем в его время, когда он обсуждался в кружке крупных ученых шотландцев и англичан, составлявших круг Геттона, имена которых для нас и теперь живы: Адам Смит, Блэк, Уотт...

Ибо сейчас мы должны переносить те силы, которые определяют геологические процессы, в само вещество нашей планеты, а не выявляющуюся в нем среду.

Этот совершившийся в геологическом понимании переворот, к сожалению, недостаточно усвоен геологической мыслью в нашей стране, которая явно отстает от того пути, на который уже твердо ступила передовая геологическая мысль человечества.

7. Прежде чем перейти к этому вопросу, я хочу еще вернуться к гранитной оболочке как к устойчивому в земных условиях *конечному* изменению вещества биосферы.

В биосфере мы всегда имеем дело не только с органогенным материалом, но и с продуктами поверхностного разрушения местообитаний организмов – воздушного и водного с осадочными породами, с вулканическими продуктами, с газами, с туфами, с лавами. Количество вулканических очагов на нашей планете относительно невелико – несколько сот, если мы будем считать системы «вулканов» (например, 2000 на островах Галапагос) за единицы наравне с единичными вулканами. Оно окажется даже ничтожным в размерах планеты. Но если учесть долгое, геологически длительное время, в каком проявляется вещество в биосфере и в каком проявляются вулканы – всегда геологически краткотечные, эффект действия вулканических сил будет в биосфере очень значительным.

Мы знаем к тому же, что вулканическая деятельность в ходе геологического времени меняется в своей мощности. Мы, по-видимому, живем как

раз в конце периода ее усиления, длящегося с плейстоцена миллионы лет – больше 10.

Реально вещество биосферы (такого сложного строения) в ходе указанных процессов в геологическом времени, переходя частью через стадию метаморфизации, превращается в гранитные массы.

Когда мы встречаемся с гранитными областями, мы везде наблюдаем сложность их строения, но мы не выходим из области давлений, не превышающих тысяч атмосфер, и температуры – немногих сотен градусов.

Несомненно, что температура биосферы в местах жизни, по нашим современным представлениям, не может превышать 90 °С. Но приспособляемость – пластичность – живых организмов чрезвычайна, подземная глубинная жизнь только что начинает изучаться.

Мы должны быть здесь очень осторожны в выводах.

8. Гранитные породы не могут быть приравниваемы к обычным массивным плутоническим породам. Они могут давать начало таким породам, например, в жильных своих образованиях, но это не характерное их основное проявление, это вторичное явление. Я не могу, конечно, здесь на этом останавливаться, но отмечу два-три факта, характеризующие граниты в отличие от других.

Во-первых, надо учитывать, что существование их батолитов, выходящих по величине за пределы массивов других массивных интрузивных пород, позволяет признавать для них особые условия образования.

Во-вторых, граниты не образуются из чистых алюмосиликатовых расплавов, как это мы имеем для других плутонических пород. Гранитные расплавы, по опытам Горансона в Геофизической лаборатории в Вашингтоне, *богаты водой* и кристаллизуются при более низких температурах. Расплавленный гранит при новом застывании и расплавлении не дает гранита.

Образование ими гранитной оболочки, облекающей всю планету (оболочка эта представляется более чем вероятной), тоже указывает на особое их положение в строении планеты. Значение воды в гранитном расплаве всецело отвечает пониманию гранита как конечного продукта расплава вещества биосферы. Ибо сама биосфера может быть рассматриваема как *водная оболочка*, не говоря уже о гидросфере и тропосфере, в нее входящих. Все живое вещество, взятое как химический субстрат, может быть рассматриваемо как *водное тело*.

Возможно, что гранитные образования в связи с этим образуются при особых энергетических условиях.

Я думаю, что *брошенная М. Люжоном идея* о значении для расплавления гранитов той энергии, того нагревания, которое создается при горообразовании, энергии, в конце концов сводимой к *тяготению*, заслуживает серьезно-го внимания.

9. В наших прикладных расчетах, в учении о рудных месторождениях, мы прежде всего, пользуясь таблицей Филлипса-Кларка-Фохта, рассматриваем их в аспекте *земной коры*. Ясно сейчас, что такое представление является слишком абстрактным. В реальных условиях окружающей человека природы и в связанных с этим прикладных расчетах техники надо исходить из геохимических явлений, не идущих так глубоко, как это выявляется для земной коры, средний химический состав которой отвечает гранитной оболочке. Мы

знаем, что биосфера в отличие от средних чисел земной коры в разных своих точках чрезвычайно *химически разнообразна*. Это ярко выражается в геологической карте, хотя в ней, по условиям ее построения, это различие даже выражено в уменьшенной степени.

Для выяснения концентрации химических элементов в области жизни человека надо, таким образом, обращаться не к среднему составу земной коры, а к реальному составу биосферы в данном участке геологической карты.

Мы живем и работаем не в земной коре, а в биосфере, состав и строение которой обычно резко отличаются от состава земной коры и которая, как мы увидим, только связана с земной корой, и связана более сложно, чем мы это обычно принимаем, и логически должна быть от земной коры отделена.

10. Во всем дальнейшем рассуждении я исхожу из основного положения *радиогеологии*, что в природе атомный состав вещества в том числе и земного, является самодовлеющим источником действенной энергии, могущей, исходя из него, быть вычисленной.

Мы видим, таким образом, что химический атомный состав земной коры есть своеобразное *геологическое явление*. Это одно из многих проявлений *вещества планеты* как активной решающей геологической силы.

В веществе планеты, в атомных его свойствах, в его атомном составе, мы должны искать причину многих основных геологических явлений.

Это новое научное представление не создается в своем значении у нас, в нашей геологической работе и мысли.

Вещество планеты – мощный источник энергии геологических процессов.

11. Поэтому я считаю необходимым обратить ваше внимание на связанное с этим состояние геологии в настоящий исторический момент и на необходимость для нас, для всех геологов, коренного пересмотра некоторых господствующих представлений и активного выяснения своего отношения к тем новым воззрениям, которые на наших глазах все глубже проникают в геологию. Мне кажется, мы находимся сейчас на переломе, и нельзя, как делает, к сожалению, огромное большинство наших геологов, закрывать глаза на происходящее, нельзя не принимать участия, активного участия, в происходящем научном переломе, ломающем привычные представления. Попытка остановить у нас это движение, печальный факт в истории нашей научной мысли, была сделана в 1933–1934 гг. ЦНИГРИ; она, как и надо было ожидать, кончилась полным провалом, но задержала и сильно ослабила тогда работу Радиевого института года на два. Сейчас положение стало еще более резким, так как за последние два года (1938 – 1939) в учении о радиоактивности, и в радиогеологии в частности, достигнуты крупные успехи и вскрылись новые явления, еще более усиливающие – отчасти неожиданно для всех нас – значенные радиогеологических процессов для геолога.

Я могу сейчас остановиться на этом лишь кратко, попутно.

12. Мы видим, что таблица Филлипса-Кларка-Фохта атомного химического состава земной коры отвечает определенному *геологическому явлению* в истории нашей планеты.

Такое геологическое проявление *вещества нашей планеты* есть то новое, что вносится сейчас в геологию и что должен учитывать в работе геолог. Это

проявление глубокого охвата явлений геологии атомными представлениями, мне кажется, – поворотный момент в ее истории.

Атомы не являются материальными телами, чуждыми и инертными в той среде, в которой они существуют. Они *активно* в ней отражаются, являются *носителями свободной энергии*. И эта энергия проявляется в геологических процессах каждодневно, а в ходе геологического времени оказывается основной и огромной по мощности.

Для ряда химических элементов – радиоактивных – мы ясно видим, в чем такое их свойство выражается. Мы видим, что эти атомы проявляют – неизбежно и вне всякой возможности остановить это проявление – *движение материального характера, обладающее не существующей в обычных геологических явлениях скоростью*. Я могу назвать эту скорость, чуждую обычным геологическим процессам, *космической скоростью*, ибо она превышает скорость движения Солнечной системы – $17,5 \pm 0,6$ км в секунду (по В. Кемпбелю) – ту скорость, которую никогда не может превзойти чисто *планетное материальное движение*.

Мы знаем, что радиоактивные химические элементы обладают в движении выделяемых ими материальных частиц скоростью, превышающей 20 000 км в секунду. Уже тогда, когда это было открыто, Ф. Содди был одним из тех немногих, которые (другие – теперь уже покойные Э. Резерфорд и М. Кюри-Склодовская) сразу поняли, в чем заключается тайна радиоактивности – в *распаде атома*. Он тогда уже указал на возможность и вероятность того, что нерадиоактивные, обычные химические элементы только потому кажутся нам инертными, косными, что процесс их распада более медлен, сопровождается меньшим энергетическим эффектом и потому недоступен *пока* научной методике. Но распадение идет с космической скоростью.

Я должен здесь подчеркнуть, что все наши геохимические и геологические данные все больше нас убеждают в правильности этой идеи.

13. Прежде чем идти дальше, я хочу подчеркнуть значение эмпирического вывода о своеобразном геологическом проявлении материальных частиц, движущихся в земной коре с космической скоростью.

Все эти проявления связаны с атомами, в теперешнем нашем представлении о распадении атомного ядра – с явлениями не химическими (которые мы теоретически относим к окружению атома), а *радиоактивными*.

На наших глазах с каждым годом все больше и резче такие процессы выявляются в своем значении в просторах Космоса. Под давлением изучения материального и энергетического проявления этих просторов, под давлением эмпирических фактов наши представления об их физических свойствах резко меняются. Атомные проявления коренным образом, с каждым годом все глубже и ярче, охватывают *астрофизику*. Она перестраивается на наших глазах; резко меняется картина Космоса, тысячелетия остававшаяся почти неизменной и неподвижной в людском представлении. Сейчас мы видим здесь непрерывно меняющуюся на наших глазах среду, в которой неподвижный, казалось, звездный мир является иллюзией. Ученый идет здесь с каждым годом все дальше и глубже, опираясь не только на опыт и наблюдение, но и на научную, быстро растущую теорию – *научную теорию строения ядра атомов*, помогающую находить новые факты и новые космические проявления

атомов. Под этим влиянием создается новая картина Космоса, сейчас нам известная лишь в первых очертаниях.

Атомная теория сейчас основывается столько же на научном опыте физиков и химиков, сколько на научном *наблюдении* астрофизиков.

14. Эта космическая среда, в которой наблюдаются прежде всего движения материи и энергии со своей космической скоростью проявления, в космических просторах господствующей, неотделима от нашей планеты, но достигает ее только своими слабыми отголосками.

Три явления могут быть сейчас отмечены, но по-видимому, мы находимся лишь в начале понимания проблемы.

Во-первых, *электромагнитное поле Солнца* захватывает ионосферу нашей планеты, внося в нее связанные с ним радиации Солнца и движущиеся с космической скоростью материальные его корпускулы.

Во-вторых, из-за внесолнечных пределов, может быть, даже из-за пределов вне нашей Галаксии, глубоко проникают в нашу планету *космические излучения*, вызывающие, по-видимому, на Земле (и в Космосе) среду *рассеяния* элементов, независимо создаваемые и радиоактивным распадом земных химических элементов.

И в-третьих, в земную среду входят непрерывно с космической скоростью, сгорают и вызывают ряд быстро проходящих, но в совокупности непрерывных процессов земного вещества, в конце концов с потерей космической скорости выявляющихся нами как космическая пыль, падающие звезды, часть серебристых облаков, газовые новообразования, наконец, метеориты.

Это – начало нам научно известных, но не оцененных в своей совокупности и в значении явлений. Ближайшее будущее вскроет нам здесь много нового и сейчас нам не видимого.

И наконец, в ту же область явлений космической скорости входят все *вещества нашей планеты*, прежде всего ясно для нашего понимания, *радиоактивные элементы*, временно такими становящиеся другие обычные элементы и, наконец, как я уже указывал, все элементы, все атомы. Причина радиоактивности нам неизвестна, и, очевидно, распадение атомов и атомная энергия, с этим связанная, являются основной в нашем теперешнем представлении наряду с тяготением, чертой строения Космоса и нашей планеты.

15. Прежде чем перейти к биосфере, я считаю себя вынужденным обратить внимание Академии на недопустимую дальше отсталость нашей геологической работы в этой области геологии, которая может быть названа *радиогеологией*. Так дальше без глубокого вреда для дела продолжать мыслить нельзя.

Дело в том, что сейчас геология в нашей стране переполнена представлениями далекого прошлого, неверность и ненужность которых давно доказаны, учтены мировой научной мыслью – особенно в странах Северной Америки.

У нас геологи не учли, что *причина* проявлений высокой температуры на нашей планете *найдена* и спору и сомнению не подлежит. Наша планета, как и все другие, поскольку они известны, есть тело, *по существу, холодное*, и повышение ее температурного состояния вызвано двумя процессами: лучеиспусканием Солнца и атомной, вернее ядерной, радиоактивной энергией.

Первое так глубоко проникло в науку, что мы забываем, что оно было в свое время принято с большой борьбой и вошло в науку окончательно только немногим более 100 лет назад (в 1820-х годах), после работ Фурье; вторая до сих пор в нашей геологической среде вызывает сомнение или иногда просто отбрасывается. Хуже всего, что молодежь, наша научная смена, воспитывается в уверенности, что эти сомнения являются не *научной ошибкой*, а допустимым научным скепсисом, осторожностью научной мысли. Я не знаю у нас ни одного учебника геологии для высшей школы, даже среди лучших, где бы сознание происшедшего перелома отразилось должным образом. Если я не ошибаюсь, в нашей средней школе продолжают преподавать космогонии как реально допустимые или как научные теории – представления, корни которых идут в глубь средних веков, в XVII в., которые вошли в сознание и отражают философию просвещения XVIII в. и давно, уже десятки лет, наукой отвергнуты.

Та тепловая энергия, которая связана с *химическим составом земного вещества*, с концентрацией в нем радиоактивных химических элементов, которые наблюдаются в окружающих горных породах, вполне, с огромным излишком, достаточна для научного объяснения всех тепловых и динамических процессов, нашей планете свойственных. Больше того, гранитная оболочка, богатая радиоактивными атомами, не может продолжаться глубоко внутрь планеты: наблюдаемый тепловой (по сути, холодный) режим Земли резко этому противоречит.

Особенно это недопустимо после новых крупных успехов в учении о радиоактивности, достигнутых в 1938–1939 гг.

Опыты над распадением тяжелых атомов – урана, тория – недавно вскрыли новые явления, раньше неизвестные. Они вскрыли новый фактор, имеющий, мне кажется, большое значение в геологических процессах. Они выяснили значение *нейтронных реакций*. И в связи с этим становится ясным, что мы должны считаться с гораздо большей интенсивностью на Земле теплоиспускания радиоактивных элементов, чем это думали, например, во время Геологического конгресса в Москве в 1937 г., когда мне пришлось в последний раз выступать с докладом по радиогеологии.

В связи с этим перед нами впервые открывается надежда научно подойти к разрешению одной из *основных геологических загадок*, которая не получала до сих пор никакого удовлетворительного ответа и, в сущности, не охватывалась ни одной из космогонических теорий.

К решению мы не могли подойти и исходя из того, что было нам известно до 1938 г. в области радиоактивности. Но, опираясь на эту область явлений, мы уже тогда твердо знали, что наше понимание этих процессов начальное, и мы могли быть уверены, что дальнейшее движение по этому пути приведет к разрешению загадки.

Мне кажется, что мы сейчас в радиогеологии к такому разрешению подходим.

Я говорю о *вулканизме* в широком смысле этого слова, о причинах и источниках энергии *вулканических извержений и магматических очагов*.

До сих пор геолог никакого сколько-нибудь конкретного ответа на вопрос о причинах этих явлений дать не мог. А между тем это явление ясно видно на протяжении всех геологических процессов с катархеозоя.

Нейтронные реакции, которые имеют характер цепных реакций, как показал недавно Нельцин в Париже, позволяют, по-видимому, подойти к научному изучению этой проблемы.

Существование нейтронных излучений из гранитов Средней Азии было недавно указано Горшковым и его сотрудниками. Идея Нельцина должна быть проверена не на гранитах, а на вулканических породах, особенно самых молодых и свежих.

Как раз об этом мы сговаривались этим летом в Узком с недавно ушедшим из жизни крупнейшим исследователем вулканизма в нашей стране, дорогим долголетним моим другом и моим учителем Ф.Ю. Левинсон-Лессингом. Мы думали в ближайшую сессию поставить на обсуждение эту проблему. Ему не суждено было принять участие в этой работе. Но она должна быть сделана.

16. Биосфера занимает совершенно определенное положение в нашей планете, является проявлением ее организованности. Для понимания ее химического состава необходимо это точно учесть. Она коренным образом, резко отличается от *земной коры*. Понятие «биосфера» ввел в геологию Э. Зюсс в своей работе о происхождении Альп 65 лет назад. Он вновь вернулся к нему в «Лике Земли», оказавшем огромное влияние на геологическую мысль в конце XIX – начале XX в. Но в том понимании, в котором это понятие сейчас входит в жизнь, в геохимию и в связанные с ней области проблем, в биогеохимию например, оно не вполне совпадает с понятием Зюсса. Я не буду здесь углубляться в выяснение этого различия, а буду исходить из того понимания биосферы, какое сейчас вошло в жизнь в геохимии. К сожалению, геологи недостаточно глубоко используют эти представления, которые в геофизике и в геологической ее трактовке уже приобретают первостепенное значение.

Я буду исходить из следующего, сведенного в таблицу (§ 18) представления, отвечающего, мне кажется, эмпирическим данным геологии, геохимии и геофизики о структуре планеты; буду касаться только в нужной мне для данного доклада степени, возможно кратко.

Можно сейчас утверждать как научный факт, что наша планета состоит из концентрических оболочек, устойчивых и прочных во времени, но находящихся в непрерывном, более или менее резко проявляющемся, закономерном изменении.

Эти концентрические оболочки находятся в состоянии устойчивого динамического равновесия, которое можно в отличие от механизма планеты назвать *организованностью планеты*. Отличие организованности от механизма в основном заключается в том, что в ходе временидвигающиеся точки никогда не возвращаются в *то же самое* положение – они возвращаются только в *близкое*.

Говоря о концентрической последовательности геологических оболочек и геосфер, мы должны понимать их не как геометрически правильные концентрические объемы пространства планеты, ограниченные шаровыми и эллипсоидальными поверхностями. Ясную картину реальной оболочки дает, например, граница тропосферы на суше. На океане она очень приближается к пространству, ограниченному эллипсоидальной, почти шаровой поверхностью, а на суше ограничивающая поверхность чрезвычайно неправильна – она в Гималаях подымается больше чем на 8 км от уровня геоида, а в восточноафриканских впадинах лежит много ниже уровня геоида.

Когда я говорю о концентрических оболочках и о геосферах, я говорю не об идеальных их моделях, а о реальных формах. Я буду различать в этих концентрических оболочках более крупные подразделения – *геологические оболочки* и более дробные их подразделения – *геосферы*.

Никакого объяснения этому эмпирическому обобщению сейчас дать мы пока не можем. Мы должны пока брать его как научный факт, научное наблюдение.

Ясно, однако, что это – явление сложного происхождения, сложившееся в ходе геологического времени, можно сказать, явление *планетное*, земное в частности, отражающееся коренным образом на всех явлениях, имеющих место на Земле, и на всех научных исканиях, с Землей связанных.

17. Можно свести это строение из *геологических оболочек и геосфер в таблицу* (§ 18), которая является научным *эмпирическим обобщением*, является научным фактом – основным геологическим явлением, в котором мы начинаем разбираться и которое в его значимости мы только начинаем сознать.

Геологические оболочки и геосферы представляют область изучения, которая характеризует Землю как планету. И те и другие характеризуют *Землю как целое*. Оболочки и геосферы очень часто являются сплошными концентрическими отрезками, но в некоторых случаях могут занимать только часть (может быть, большую) концентрического пространства, ограниченного – в идеале – шаровыми поверхностями, и не охватывать всю планету.

Это явление, не отвечающее характеру тела, вращающегося вокруг оси, представляется нам явлением *вторичным*, нарушающим его первоначальную симметрию.

Пока мы не можем дать никакого объяснения – должны искать его. В данный момент, мне кажется, можно оставить в стороне все гипотетические попытки объяснения. Важно прежде всего точно установить факт нарушения симметрии, характер диссимметрии и ее изучить.

Пока ясно, что такая диссимметрия строения связана с характерной чертой строения Земли, с Тихим океаном, с *гидросферой*. Под Тихим океаном не существует ни стратисферы, ни метаморфической оболочки, ни гранитной оболочки. Наши знания здесь так недостаточны, что мы можем ожидать много неожиданностей.

Сводя в таблицу состояние наших знаний о геологических оболочках и геосферах, я оставляю в стороне всякого рода теоретические построения и включу только то, что вытекает из опыта и наблюдения (§ 18).

При суждении об этой таблице надо принимать во внимание резкое различие в достоверности нашего знания, правда быстро улучшающегося. Наши знания в направлении космических просторов, концентрических геологических оболочек, лежащих выше биосферы, значительно более точны, чем знания земных глубин, что связано, конечно, прежде всего с тем, что газовая среда, с которой мы имеем здесь дело, более доступна нашему зрению, основному фактору познания картины нашей природы.

По мере удаления вглубь и ввысь от области жизни – биосферы – наши знания становятся все более неполными и, вероятно, через немного лет изменятся по сравнению с современными.

Важно только не включить чего-нибудь такого, что вскоре должно быть вычеркнуто, и не пропустить чего-нибудь основного из-за лишнего скепсиса.

Я дам сперва таблицу геологических оболочек и геосфер, как они, мне кажется, сейчас выявляются, и затем дам краткие, мне кажущиеся нужными, разъяснения.

18. Вот эта таблица.

ТАБЛИЦА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК И ГЕОСФЕР ЗЕМЛИ

I. *Электромагнитное поле Земли*. Физический вакуум захватывается электромагнитным полем Солнца. Примерно от 500 и выше 1000 км от уровня геоида. Следует суточному вращению планеты. Возможно и проникновение материальных частиц из Солнца (водород) и Галактики. Это поле не есть инертная среда, и материально-энергетический обмен с Космосом нашей планеты начинается в нем выясняться как характерное проявление структуры планетной системы.

II. *Ионосфера*. Разреженный газ из атомов и ионизированных атомов. Сильное электромагнитное поле. Космическое и солнечное излучения играют большую роль. Распадается на ряд геосфер: А (сверху). Примерно от 500 до 100 км вверх от уровня геоида. Температура повышается непрерывно кверху. На 235,6 км, по наблюдениям Ф. Уиппла (1939), она равна 100°.

III. *Стратосфера*. Верхняя граница условно 100 км. Нижняя колеблется от области минимальной температуры газовой массы планеты, открытой Тейссеран де Бором в 1902 г. (точка инверсии). Нижняя граница колеблется в пределах 9–15 км. Наименьшая наблюдавшаяся температура – 98°. *Температура кверху непрерывно повышается*. По Ф. Уипплу (1939), на высоте 43,4 км она равна +20°. Газовый состав, разрежающийся кверху с неизменным, тем же, что и в тропосфере, отношением $N_2:O_2$ *независимым* от высоты над уровнем геоида. Пары воды, по видимому, отсутствуют. Человек проникает в нижние слои стратосферы.

IV. *Биосфера* распадается на три *геосферы*: *тропосферу* (наша атмосфера), гидросферу (Всемирный океан), *литосферу* (суша). Здесь впервые мы встречаемся с несплошными геосферами, охватывающими не всю планету, с резко выраженной диссимметрией, явно связанной с частью гидросферы – с Тихим океаном.

Тропосфера мощностью 9–12 км, кверху непрерывно переходящая в стратосферу; это наша *атмосфера, воздух* – она есть последняя сплошная газовая оболочка, охватывающая всю планету. Она проникает всю гидросферу, образуя *подводную тропосферу, давление которой независимо от давления массы воды*. Тропосфера в виде *подземной тропосферы* проникает и всю литосферу.

Мощность *гидросферы* в среднем 3,8 км, мощность *литосферы* больше 3 км от уровня суши.

Общая мощность биосферы, таким образом, от 12 до 16 км.

В гидросфере приходится выделять большую ее часть – *Тихий (Великий) океан*, который выполняет впадину, имеющую совсем другое строение, чем вся биосфера. В ней нет стратисферы, метаморфической оболочки, гранитной. Возможно, здесь находится уменьшенная в размерах *подгранитная оболочка – VII* – тяжелых пород.

Под всей сушей *V– VIII* оболочки существуют.

Нижний уровень их различен в разных местах, в пределах 37–65 км от уровня геоида.

Можно считать открытым для научных гипотез явление резкой диссимметрии – особое происхождение впадины Тихого океана. Область этих явлений требует пристального внимания.

Вся биосфера, включая тропосферу во всех ее формах, находится в непрерывном движении. Температура свободной *тропосферы кверху понижается*, температура *гидросферы понижается книзу*, температура *литосферы* (с проникающей ее подземной тропосферой) постепенно повышается с глубиной. Состав тропосферы в основной ее части – отношение $N_2:O_2$ в воздушной и в подводной ее части – тот же в основном, что и в стратосфере. В подземной части тропосферы кислород быстро исчезает (*кислородная поверхность*), резко создается *азотная подземная атмосфера*.

Одно космическое явление характеризует биосферу. Здесь заканчивается проникновение всех космических радиаций в вещество нашей планеты. Они охватывают всю тропосферу, проникают в гидросферу, вернее в ее верхние 1–3 км по крайней мере, и на сотни метров входят в вещество литосферы. К сожалению, нижняя граница их не установлена.

Вещество биосферы резко и глубоко *неоднородно*. Это, с одной стороны, *живое вещество* (совокупность живых организмов), богатое действительной энергией, создаваемое под влиянием космических излучений, а с другой стороны, *косное вещество*, действительная радиоактивная и химическая энергия которого в подавляющей его массе в *аспекте исторического времени* ничтожна. Живое вещество охватывает и перестраивает все химические процессы биосферы, действительная его энергия по сравнению с энергией косного вещества в *историческом времени огромна*. Живое вещество есть самая мощная геологическая сила биосферы, растущая с ходом времени. Оно не случайно и независимо от нее в ней живет, но есть проявление физико-химической организованности биосферы.

Человек живет в биосфере. Природа биосферы есть та природа, которую он может максимально познавать и от которой исходит для познания Космоса и других геологических оболочек планеты – проникает в ее недра.

V. *Стратисфера* – выделенная Э. Зюссом оболочка осадочных, главным образом морских и обломочных, а также терригенных пород. Под глубинами гидросферы отсутствует. Не является сплошной. В течение геологического времени мощность, начиная с кембрия и кончая кайнозойем, могла бы достигнуть 120,6 км (по К. Шухерту, 1931). Температура достигает 100° (в различных местах по-разному) уже в немногих километрах вниз от уровня земной поверхности. По месту в планете в стратисферу должны быть включены вулканические породы – лава, покровы и туфы, выливающиеся на земную поверхность, на дно Океана или останавливающиеся, не доходя до биосферы.

VI. *Метаморфическая оболочка*. Отсутствует под Тихим океаном. Благодаря высокой температуре, проявляющейся уже в стратисфере и усиливающейся по мере углубления, непрерывно увеличивающемуся давлению и непрерывному проникновению горючих растворов и газов снизу все вещество стратисферы перекристаллизовывается в ходе геологического времени и переходит в очень определенные, новые минералы и их комплексы, в *метаморфические породы*. Можно различить две относящиеся сюда геосферы – *верхнюю и нижнюю метаморфические оболочки*. В нижней геосфере резко выступает проявление давления. Мощность метаморфической оболочки различна в разных местах. Кристаллические решетки и молекулы нижней геосферы характерны своей комплексной структурой.

VII. *Гранитная оболочка*. Отсутствует под Тихим океаном. По-видимому, гранитная оболочка начинается на глубине 12–25 км от уровня геоида, но эта верхняя граница не может считаться ясно определенной. Ее мощность может исчисляться 35–40 км, но эти цифры ненадежны. По-видимому, есть общий перерыв механических свойств (суша) на глубине около 60–63 км от уровня геоида. Вероятно, на этом уровне (60–100 км от уровня геоида) мы выходим в VIII геологическую оболочку, *оболочку тяжелых силикатных образований*, в оболочку, которую без всяких оснований называют *дунитовой, перидотитовой* и т.д. С геохимической точки зрения такое название, связанное с двумя предположениями, вошедшими с легкой руки Э. Зюсса, назвавшего ее *Sima*, т.е. богатой Si и Mg, недопустимо. Мы не имеем никаких оснований допускать уменьшение с глубиной количества алюминия и увеличение количества магния. Я буду называть ее тяжелой подгранитной оболочкой.

VIII. *Тяжелая подгранитная оболочка*. Она, по Гутенбергу (1939), отсутствует под Тихим океаном¹, но это не является еще доказанным. Возможно, что она уменьшена в мощности. Область неустойчивого равновесия здесь заканчивается или близка к концу. «Подвижная земля» Дэли, область дислокаций, охватывает, таким образом, область земных явлений от биосферы до этой *оболочки тяжелых силикатовых образований* включительно. В последней она постепенно сходит на нет. Это представление явно временное. Широко распространенные сейчас в геологии представления о ней требуют коренной перестройки и явно не отвечают современному уровню знаний. Несомненен один факт – *большой удельный вес этой оболочки – 3,5–4,5*. Говорить о дунитовых или перидотитовых породах, о яркой роли магния, опираясь на факты, нельзя. Глубже 60 км от уровня геоида вещество становится резко *пластическим* и твердое состояние химических соединений неотличимо от *жидкого*. Для силикатов, алюмо- и ферри-

¹ Под Тихим океаном, вероятно, твердая.

силикатов можно говорить о пластическом состоянии – *стекловатом*. Геохимически нет ни малейших указаний на большую роль магния и на резкое уменьшение значения алюминия. Наоборот, значение алюминия и особенно железа должно увеличиваться. Силикаты, алюмо- и ферросиликаты железа, надо ожидать, будут играть большую роль с углублением внутрь планеты. Их кристаллические ячейки, не существующие в качестве монокристаллов, но не разрушимые давлением (какое здесь имеет место), должны отвечать идентичным плотным *молекулярным* структурам. Каолиновые тетраэдры (AlO_4), (SiO_4), (FeO_4) должны господствовать.

Где-то, едва ли близко к 60 км, возможно много глубже, достигается в этой оболочке *максимальная температура планеты*.

В гранитной оболочке и в низах метаморфической мы встречаем магматические очаги, происхождение которых, возможно, связано с нейтронными реакциями радиоактивного распада.

Ниже этой поверхности, в оболочке тяжелых силикатовых образований, где, можно думать, преобладают Si–Al–O–Fe, температура с углублением *должна понижаться*, ибо, насколько известно, источник теплоты – количество радиоактивных атомов быстро уменьшается.

В пластическом силикатовом веществе должны сохраняться газовые проявления, иначе нам непонятны пока смещения вещества, связанные с глубинными землетрясениями, в районе Тихого океана – на глубине *сотен километров от уровня геоида*.

Силикатовая оболочка идет до глубины по крайней мере 1200 км.

IX. *Силикатовая пластическая оболочка, заключающая более тяжелые металлические выделения*. Возможная, многими считаемая установленной. Фактом этого считать пока не можем.

X. *Металлическое сдавленное ядро планеты*, в котором, по-видимому, преобладает α -железо – ферромагнитная полиморфная разновидность железа. Его существование объясняет *магнитное поле и высокий удельный вес планеты* в целом. Надо отметить, что удельный вес этой металлической части планеты, учитывая давление, выше удельного веса железа (больше 8 вместо 7,5). Возможна смесь ферромагнитной разновидности железа с более тяжелым металлом (едва ли никель – недостаточно тяжелый).

Температура металлического ядра, вероятно, сравнительно низкая. Может быть *ядро холодное*.

19. Надо отметить еще некоторые явления, о неизбежном проявлении которых мы не должны забывать, когда имеем дело с областями больших глубин, т.е. с земными недрами, с глубинными оболочками.

Это термодинамические области, на которые мы не можем переносить без ярких поправок явления, изучаемые нами на земной поверхности.

Прав проф. И.И. Заславский, который отметил, что силикаты и алюмосиликаты больших глубин, областей больших давлений, должны больше отвечать другим телам – минералам, чем обычные полиморфные разновидности силикатов, нам известные.

Небольшой наблюдаемый скачок плотности глубинного материала планеты не позволяет, при полном отсутствии других указаний, предполагать существование резкого изменения его химического состава: силикаты, алюмо- и ферросиликаты кальция, магния, железа, натрия, калия должны по-прежнему резко преобладать.

Но они должны в главной своей массе отвечать новым атомным структурам – молекулам и монокристаллам – этих элементов, таким, которые устойчивы в глубинных термодинамических полях планеты большого давления и относительно низкой температуры. Тетраэдрическое распределение атомов кислорода вокруг атомов алюминия, кремния, железа должно здесь выявляться еще более резко. Молекула не разрушается в этой термодинамической среде, не разрушаются, следовательно, и кристаллические пространственные решетки.

Существование под гранитной оболочкой оболочки основных пород основывается только на научной гипотезе, построенной на космогонических представлениях. Э. Зюсс, исходя из них, пытался в своем представлении о «Сима», лежащей ниже гранитной оболочки, использовать идею А. Добрэ и С. Менье, исходивших из сравнения метеоритов с земными породами (что сейчас едва ли допустимо). Он, как и Добрэ, искал в окружающей нас среде эмпирические данные, подтверждающие космогонические представления, по существу дедуктивные и связанные с чуждыми нашей планете явлениями (§ 20).

В 1860–1870-х годах можно было думать, что метеориты независимо от космогонических представлений могут помочь разобраться в строении нашей планеты. В 1930–1940-х годах мы можем утверждать, что эта надежда *благодаря росту* метеоритики, с одной стороны, и успехам геологии – с другой, отпадает.

Попытки Зюсса опереться на эти идеи в конкретных геологических явлениях, в никелевых рудах и в генезисе земного никелевого железа, кончились полной неудачей.

Мы знаем пока только одно, что под *гранитной оболочкой* идут книзу материальные массы, постепенно переходящие благодаря давлению во все более *пластические, стекловатые массы*, в которых отдельные минералы в конце концов исчезают и в которых по мере углубления быстро уменьшаются атомы, находящиеся в состоянии радиоактивного распада.

Эти пластические массы *едва ли могут быть названы горными породами* в обычном понимании. Это в основе другое природное явление.

В декамириадах геологического времени должна была здесь выработаться известная *однородность строения*, нарушаемая термическими явлениями, связанными с радиоактивным распадом атомов, в обстановке увеличения давления по направлению к центру планеты и уменьшения радиоактивного распада в том же направлении. *Давление повышается, температура уменьшается.*

К сожалению, область высоких давлений, химических и физико-химических процессов, с этим связанных, не охвачена опытом в той степени, в какой это сейчас возможно.

Это одна из основных задач геофизики, настойчиво требующая не теоретических построений, а прежде всего нового научного эксперимента. В нашей стране, к сожалению, эта область экспериментальной физики совершенно отсутствует.

20. В области этих явлений, влияющих на геологическую мысль, однако, прежде всего необходимо очистить почву, освободить научную мысль от пагубного влияния научно-философских верований, не отвечающих той реальности, с которой здесь имеет дело натуралист.

Я остановлюсь здесь на двух областях – на современном положении метеоритики и учения о радиоактивности в их значении для геологических проблем.

В обоих случаях приходится иметь дело с широким господством среди геологов представлений, не отвечающих современному состоянию этих областей знаний.

Сравнение *метеоритов с горными породами* – специфичным *планетным явлением* – едва ли сейчас теоретически допустимо. Во время Добрэ и Менье

и, позже, Зюсса это было допустимо. Однако в результате столетней работы только небольшая часть метеоритов могла быть включена в систематику горных пород, но и для нее отличие от земных горных пород не возбуждает сомнений.

Допущение, что в метеоритах мы имеем аналогию с глубинным образованием планеты, что они произошли от разбитой или разорвавшейся планеты, не может сейчас быть введено в научную работу. Я оставляю при этом в стороне само допущение раздробления планеты как реального природного явления, никогда не наблюдавшегося.

Но сейчас и другое обстоятельство заставляет нас относиться с большой осторожностью к этим представлениям первой половины прошлого столетия.

Все ярче и точнее утверждается представление, что метеориты не принадлежат к Солнечной системе, а являются галактическими телами, ибо во всех изученных случаях скорость их движения превышает скорость движения Солнечной системы. Представление Швиннера о том, что это осколки *звезд*, не позволяет с какой-нибудь надеждой на успех пользоваться им для суждения о внутренности *планеты*.

Можно – а я думаю и должно – сейчас все эти ряды представлений оставлять без внимания в научной геологической работе.

21. Точно так же должны быть оставлены в стороне (как не основанные на научных фактах) все представления о существовании в нашей планете остаточных запасов тепла, связанных с ее догеологическими – космическими – стадиями существования. Их допущение связано с космогоническими представлениями, идущими в тот век, когда геология была в зародыше. Они получили широкое распространение в первой половине XIX в., – наиболее ярко они выявились в лапласовских представлениях. И хотя научные факты этим представлениям о некогда расплавленной Земле не отвечают и астрономы давно уже перестали смотреть на эти и аналогичные представления как на научные гипотезы, они в геологии до сих пор не изжиты.

В геологии мы не должны считаться сейчас с этими представлениями и должны отбросить их как ненужные и чуждые реальности, в конце концов искажающие наши точные геологические выводы.

Они до такой степени вошли в научную геологическую мысль, что такие геологи, как Д. Джоли или А. Холмс, впервые широко использовавшие радиогеологические явления для геологической истории планеты, не решались их отбросить и старались найти компромиссные представления.

Благодаря этому картина крупнейших геологических явлений, выявляемая радиогеологией, сглаживается и искажается. А между тем она представляет результат точного научного наблюдения и опыта, тогда как космогонические представления, геологию проникающие, являются пережитками философских представлений.

В нашей среде еще сохранилось от далекого прошлого, в действительности уже давно прожитого, но не осознанного, ошибочное представление о примате философских достижений (в том числе и космогонических) над точными научными результатами опыта и наблюдения.

Поскольку дело идет о точно научно установленном факте, он обязателен и независим от философского анализа. Спор может касаться только объяснений, гипотез, теорий.

Во всем дальнейшем изложении я не буду считаться с такими построениями, а буду принимать во внимание только те источники энергии (в данном случае – теплоты) планеты, которые реально сейчас в научных фактах проявляются.

Среди них на первом месте стоит атомная энергия радиоактивного распада атомов. Она одна с избытком достаточна для объяснения всех связанных с ним тепловых проявлений Земли в ее прошлом и настоящем. Давно пора выбросить из геологии фантазии прошлых представлений, корни которых переплетаются с религиозным христианским пониманием реальности, глубоко охваченным философскими построениями XVI–XX столетий.

Без них можно и, следовательно, нужно обойтись.

II

22. Как мы видели, наши знания о *химическом составе земной поверхности и ее глубин* не только случайны, но, что еще важнее, они связаны – в наиболее изученной своей части – не с реальным строением нашей планеты, а с «земной корой» и с идеологическим представлением, сложившимся в связи с ошибочными представлениями о прошлом нашей планеты.

Что такое «земная кора», выраженная в атомной таблице Филлипса-Кларка-Фохта (§ 2), можно вывести из анализа того пути, каким она была получена. Мы видим тогда, что она есть *часть биосферы* – вещество, непосредственно доступное нам в образцах для исследования (§ 3). Но оно выражено не в своем реальном разнообразии, в своих резко различных проявлениях в разных местах земной коры, а в *средних величинах*, где все различия сглаживаются.

И все же ясно, что это среднее – важная планетная константа, отвечает гранодиоритным горным породам гранитной оболочки. Возможно, что она отвечает по среднему составу былым биосферам, прошедшим через осадочные метаморфические породы.

Для геохимии для углубления ее проблем средний химический атомный состав такой «земной коры» представляет мало интереса, во-первых, потому, что он территориально обезличен, и, во-вторых, потому, что *земная кора* является научно недостаточно ясным, конкретным понятием. *Это не особое естественное тело*. В геологии *земной коры нет*; геолог в ней работает, но она из его работы как естественное тело не вытекает.

Геохимия изучает земные атомы, а не только их смеси (химические элементы), как объекты геологических процессов, как естественные реальные тела. Беря атомы, чистые изотопы, мы имеем дело не с десятками, как это имеет место для химических элементов, но с тысячами различных тел. В науках геологических господствует основной прием научного исследования – стремление, куда прежде всего направляется мысль и работа натуралиста, – находить и определять *различия*, а не только сходства. Ибо исследователь из истории науки знает, что ничтожные с обыденной точки зрения различия приводят к явлениям, в реальном аспекте вскрывающим грандиозные проявления Космоса.

Как наука геологическая, геохимия, подобно геофизике, прежде всего должна быть связана с *геологической картой*, с тем графическим, сжатым, количественно точным аппаратом геологии, который связывает в единое

целое (так как реально единым целым является изучаемая в геологии планета Земля) все геологические наблюдения.

С геологической картой должен быть связан и *химический состав биосферы*. Он в разных точках закономерно различен, и это различие прежде всего обусловлено литологическим составом литосферы, данной точке отвечающей.

23. Мне кажется, можно сейчас из этого исходить, не надо сейчас это доказывать, что биосфера – область жизни – есть резко определенная земная геологическая оболочка, химически резко отличающаяся от других земных геологических оболочек.

Удобно при химическом, в данном случае атомном, ее составе отдельно определять ее геосферы (§ 18), не смешивая их в одно целое, исходя из того принципа, что в точной научной работе различия имеют более значения, чем сходства.

Мы отдельно должны брать для химического их выражения геосферы – *тропосферу, гидросферу, литосферу*. Эти области химически так резко различны и составляют столь резко обособленные массы земного вещества, что необходимость отдельного их химического изучения, его важность и его геологическая значимость не возбуждают ни в ком сомнения.

Но в биосфере есть еще другая особенность, резко отличающая ее от других областей планеты.

Это – резкая неоднородность строящих биосферу *природных тел*, естественных тел, *живых*, с одной стороны, и неживых, *косных* – с другой. Животные и растения, видимые простым глазом и не видимые, проникают всю биосферу, являются могущественным агентом, меняющим все химические процессы. Они являются, взятые в своей массе, основной *геологической силой*, резко перерабатывающей всю биосферу.

В общей массе биосферы живые организмы, всю совокупность которых удобно называть *живым веществом*, как геологическая сила долго не учитывались. По весу в общей массе биосферы – в среднем ее составе – живое вещество сглаживается и мало отражается в средних числах. Но состав его строго определен, и местами мы видим его свободные мощные скопления.

Таким образом, мы должны отдельно определить:

- 1) состав *тропосферы* с проникающим ее живым веществом,
- 2) состав *гидросферы* с проникающим ее живым веществом;
- 3) состав *литосферы* с проникающим ее живым веществом;
- 4) состав и вес всего живого вещества биосферы.

24. Химический количественный состав *тропосферы* нам известен только в самых общих чертах – для главной массы ее вещества. То, что точные цифры для всех элементов имеют значение для познания полного среднего состава атмосферы, сознание этого в отношении подавляющей части химических элементов отсутствует. Например, количество брома впервые прослеживается нашей лабораторией в 1938 г. (для Москвы). Для фтора еще не установлена точная методика и т.д. Нельзя сомневаться, что в атмосфере в виде газов, или в виде пыли, или в виде водных растворов находятся все химические элементы, в том числе все металлы.

Наше знание количественного элементарного состава тропосферы находится в зачаточном состоянии. Мы знаем состав главных газообразных

химических элементов и некоторых газообразных их соединений, встреченных в воздухе. Надо, однако, знать *все* элементы, и нельзя отбрасывать твердую пыль и жидкие растворы, непрерывно находящиеся в атмосфере. Ибо в геохимии мы изучаем реальное природное тело, а не идеальную чистую атмосферу. Атмосферы без пыли и капель в биосфере нет. Она играет в своем реальном виде огромную роль в химии планеты.

Из того, что мы знаем сейчас, уже ясно, что этот состав не случаен, а строго закономерен. Ясно и то, что он различен в разных местах, в разные времена года, меняется в связи с метеорологическими и климатическими условиями.

Метеорологи и климатологи мало в общем обращали внимания на химическую часть своих областей знания. Химическая сторона этих наук находится в самом зачатке.

А между тем едва ли можно сомневаться, что глубокое количественное знание этого состава должно представлять большой государственный интерес, так как, вероятно, с ним связано здоровье населения и государственно ценных животных и растений.

В этом масштабе, в котором приходится вести эту работу, она ставится впервые.

25. Значительно лучше обстоит дело с *гидросферой*. За последние годы в ряде лабораторий (у нас в Биогеохимической лаборатории Академии наук) идет количественное определение химического состава воды Океана и морей для элементов, ранее недостаточно точно определенных. Работа еще не закончена, но ясно, что она в ближайшее время будет доведена до большой научной точности.

Выдвигается несколько вопросов, которые при этом попутно могут быть разрешены.

Я здесь отмечу главное.

I. Различие между составом морей и океана. С точки зрения гидросферы – земной геосферы – воды морей в общей массе ее теряются, но для тех конкретных задач, которые сейчас выдвигаются, воды морей (конкретно воды морей нашей страны) должны быть поставлены на видное место и возможно точно количественно изучены.

Можно здесь ждать больших различий и по солевому составу, например для большинства металлов. Для состава воды морей Балтийского, Белого, Баренцева, морей Лаптевых, Охотского, Японского, Черного, Азовского чисел для большинства металлов нет.

II. Для *океанической воды* очень мало данных для глубинных вод (их солевого состава для элементов, более редко встречающихся). Это особенно важно в связи с вопросом о генезисе солевого состава воды Океана, где наряду с реками должны играть большую роль подводные и наземные вулканические явления.

Еще меньше наши сведения о водах донных осадков морских и океанических – той лаборатории, где окончательно выходят из водного равновесия новые нерастворимые в условиях дна Океана химические и биохимические соединения.

III. Больше, чем для суши, важно здесь исследование *живого вещества*, населяющего Океан и моря.

Вполне отделять морскую или океаническую воду от населяющей их жизни мы не умеем, но важны данные для больших биоценозов. Есть данные, и они увеличиваются (и в нашей лаборатории), для *планктона*. Но, например, для коралловых морей и их жизни их чрезвычайно мало. Для бентоса и для саргассовых областей также очень недостаточно.

IV. Мне кажется, отдельно надо выделить Тихий океан, особенно его глубинные воды и воды донных осадков. Здесь начинают выявляться химические аномалии – увеличение *радия* (и тория?) в илах (и в водах донных осадков) с глубиной ила. Скопление в них максимального на нашей планете в больших массах процентного содержания радия – большего, чем в самых богатых по радию горных породах, заставляет обратить внимание на это явление. Загадка Тихого океана (§ 3, 18) должна быть изучена как одна из основных проблем радиогеологии и геологии.

В связи с этим должны быть изучены в нем *гелий* и *тяжелые благородные газы*. Воды, особенно пресные, но и морские, являются концентраторами для тяжелых благородных газов.

В областях глубоких илов Тихого океана мы можем войти в земное поле устойчивости *жидкой угольной кислоты*.

26. Тропосфера и гидросфера все же представляются нам более простыми по сравнению с теми задачами, которые охватывают твердую среду биосферы.

Но в то же время мы встречаемся с двумя обстоятельствами, которые делают определение ее химического состава с научной и с государственной точки зрения особенно важным и очередным.

С одной стороны, такое изучение литосферы имеет большие приложения к нашей жизни, которые до сих пор не используются, так как до сих пор точного количественного состава литосферы в пределах биосферы мы не знаем. Человек является наземным существом и теснейшим образом связан с сушей, с ее растительным покровом прежде всего. Как обитатель суши он химически от нее неотделим.

С другой стороны, мы встречаемся здесь впервые с резко различным химическим субстратом жизни в разных местах литосферы, чего в таком масштабе и постоянстве не имеем ни для тропосферы, ни для гидросферы. В то время как для этих природных тел средние числа химического элементарного состава в общем отвечают реальности, для литосферы они и такого значения не имеют и в природе реально не выявляются. Средний состав литосферы не свойство естественного природного тела, а отвлеченное идеальное построение.

Уже исходя из этих соображений, необходимо к твердой части биосферы подойти иначе и в геологическом изучении связаться с геологической или по крайней мере с литологической картой.

27. Я считаю этот вывод и связанную с ним проблему чрезвычайно важными для геохимии, для научно правильной постановки *всех ее проблем*.

В частности, отсюда вытекает ряд важнейших приложений геохимии к жизни, которые заставляют обратить ныне на эти проблемы внимание и стремиться к тому, чтобы на быстрое составление геохимической карты биосферы были затрачены необходимые материальные средства и чтобы эта задача как таковая была поставлена в ближайший порядок дня государственной геологической работы.

Человек в течение всей своей жизни не выходит за пределы биосферы. Он только в последние годы подошел или подходит к ее научной границе, когда при бурении он превосходит 5 км от уровня Земли, но и здесь он пока не выходит, по-видимому, за пределы биосферы, так как 3,8 км, принимаемые (§ 18) за ее нижнюю границу, являются средним числом. Местами реально жизнь идет много глубже.

Как, подымаясь в стратосферу (§ 18), человек неизбежно в технике своей работы вводит туда видимую и не видимую простым глазом жизнь, так и, углубляясь за пределы биосферы, он несет ее с собой, расширяет биосферу, хочет ли он того или не хочет.

Прикладное значение геохимии, науки о закономерностях в нахождении химических элементов, атомов в нашей планете, охватывает все рудное дело и всю нашу технику. Если мы будем знать эти законы, мы сможем научно точно находить нужное нам полезное ископаемое. Геохимия в этом аспекте является, вернее, должна являться основной наукой, на которой должно строить *учение о полезных ископаемых*.

Очевидно, правильно понятая государственная работа должна это учитывать и должна быть так организована, чтобы в возможно короткое время было достигнуто нужное понимание этих, сейчас отсутствующих, геохимических данных, огромное значение которых ясно; средства на их получение быстро окупаются.

Рудой, или *полезным ископаемым*, являются такие концентрации металлов или металлоидов или их соединения, которые при меняющихся условиях государственной жизни окупаются при обработке, имеют реальную бесспорную ценность.

Законы концентрации химических элементов (и их соединений) до сих пор не выявлены. В результате больших научных наблюдений собран огромный материал, являющийся в общем сырым и случайным. Систематически, целеустремленно, организовано он не создавался. Единичный личный опыт, всегда случайный, индивидуальный, стоял на первом месте, и в ряде поколений таким путем собран огромный ценный материал. Но он не обработан научно, так как при создании его не исходили из определенной, точно поставленной задачи, не исходили из *задачи определения количественного химического состава биосферы*.

Как определять концентрацию химического элемента в биосфере? И какие концентрации брать для сравнения?

28. Мне кажется, здесь надо идти двумя путями, каждый из которых имеет свои недостатки и достоинства.

Как мы знаем, благодаря подвижности вещества биосферы оно имеет разное происхождение. Резко выделяются в биосфере материальные части, слагающие два типа вещества различных свойств, разного химического состава и строения, разного своего проявления во времени.

I. Вещество земной поверхности тесно связано с поселением живого вещества и им проникнуто. Оно резко проявляется в аспекте *исторического времени* и меняется в эволюционном процессе в аспекте *геологического времени*.

Эта верхняя часть суши – земная поверхность – не идет глубоко (до сотен метров) и является характерным биокосным телом, которое отвечает так называемой «коре выветривания» (Эбельмен).

На земной поверхности и не глубже средней части коры выветривания сосредоточена подавляющая по массе часть живого вещества биосферы.

II. *Вещество более глубоких частей биосферы*, проникновение которого в нее становится заметным только в аспекте геологического времени. Живое вещество является ничтожной частью его массива.

29. Мы можем различить для первого типа материальных образований биосферы:

I. *Живое вещество*, населяющее биосферу и определяющее в конце концов все главные ее химические проявления. Живое вещество создается живым же веществом – рождением. Связь его с окружающей материальной средой поддерживается идущим непрерывно миллиарды лет закономерным *биогенным током атомов*.

II. *Вещество земной поверхности* – коры выветривания, находящейся в соприкосновении с тропосферой, – тела: живые и отмершие организмы, продукты их жизни и переработанного ими инертного вещества.

III. *Органогенные горные породы* – создания жизни. Здесь могут быть отмечены два резко различных типа таких тел: 1) образования на суше или на окраинах и дне моря, богатые органическими соединениями – С, Н, О и N – торфы, гумусы и т.п. и 2) богатые металлами – Ca, Fe, Mg, K, Si – водные, главным образом морские и океанические. Затем: 3) пылевое, частично космическое вещество тропосферы и 4) вещество, попадающее в биосферу, в кору выветривания в частности, непрерывными эндогенными процессами, частью (например, вулканы) из-за пределов биосферы. Вулканические выделения, газы, воды и т.п.

30. Но большая часть биосферы в своей материальной части образована вторым типом вещества (§ 28), геологическими процессами (передвижением огромных материальных масс), орогеническими процессами (складками, сдвигами), смещенным, вынесенным на земную поверхность и к земной поверхности, в кору выветривания.

Мы видели, что под литосферой на суше лежит сплошная гранитная оболочка. Однако гранитные массы местами взломаны и передвинуты, частью выходят и на земную поверхность. Землетрясения здесь указывают на глубинные смещения не глубже 60 км. Это предел нижний, откуда в течение геологического времени (учитывая денудацию) может проникать в биосферу передвигаемое в форме твердых горных глыб вещество глубинных геологических оболочек.

Мы можем различать здесь горные породы стратисферы, метаморфической оболочки и гранитной (§ 18).

Попадая в новую среду, в область, богатую газами и водами, в чуждые их образованию условия бытия, в среду жизни, все эти породы изменяются, но обычный их химический состав меняется медленно, разве только в масштабе геологического времени.

Взгляд на геологическую карту ясно проявляет вызванную таким путем мозаичную структуру биосферы. Ненарушенная последовательность пород – кора выветривания, осадочные породы, метаморфические породы, гранитные породы – в полной форме редка. Точное геологическое исследование тектонических процессов давно показало, что подвижность вещества биосферы (§ 16), максимальная здесь на нашей планете, так велика, что

временами на больших участках мы можем наблюдать распределение пород, резко обратное времени их образования и правильности первоначального их нахождения.

И все же совершенно ясно, что в полученном хаосе – на протяжении более чем двух миллиардов лет – мы можем говорить о правильности химического состава биосферы и, зная эти правильности, можем точно количественно решать по мере уточнения нашего знания все более сложные научные и прикладные проблемы, с биосферой связанные.

31. Как все геологические факты, и химический состав геологических оболочек, в том числе и биосферы, есть геологическое явление. Как такое оно должно быть увязано с геологической картой, с одной стороны, и с основными *правильностями*, которые сейчас проникают всю геологическую работу, – с другой.

Хотя геологи теоретически ясно сознают своеобразное и основное знание химических явлений, с которыми в действительности они имеют дело, когда говорят о трансгрессиях моря, о метаморфизме, о вулканизме, о морских осадках биосферы в которой мы живем, они в своих выводах эту химическую – для биосферы основную – сторону явлений странным образом оставляют без внимания. Когда геолог говорит об органических процессах, о геосинклиналях и платформах, он прежде всего и больше всего в действительности считается с изменением химической обстановки литосферы – тверди Земли в данном месте, в данных координатах планеты. Но в свои выводы он это изменение химической среды не вводит и на этой стороне явления не останавливается в своем анализе.

Еще более удивительно, что сейчас этого должным образом не касается и геохимик. Он не использует результатов работы геологов и не связывает с ними те правильности в атомном строении, которые он изучает. Мне кажется, это является основной причиной того реально недостаточного значения, какое геохимия, несмотря на крупные успехи за последние годы, имеет в работе наших геологов.

32. Как идут химические реакции в пределах биосферы и как они отражаются на ее химическом составе? Поле химической реакции в биосфере резко отлично от того «поля», какое создается в наших лабораториях. Это, пожалуй, все, что мы несомненно знаем. Но точного научного представления об этом химическом явлении пока нет. И первый вывод отсюда – необходимость осторожного использования лабораторного опыта для толкования биосферных химических процессов – обычно не делается.

В биосфере мы должны резко различать: 1) химические реакции, которые сказываются быстро – в пределах человеческой жизни – в историческом времени, и 2) реакции, эффект которых сказывается лишь в декамириадах – в геологическом времени. Те и другие идут в том же самом месте. Но, очевидно, разница темпа («количество переходит в качество») не может не учитываться.

В отличие от химически средней «земной коры» Филлипса-Кларка-Фохта (§ 3) здесь в каждой *месте* биосферы мы будем иметь другой химический состав, и мы можем, ориентируясь на геологическую карту, точно его установить и понять. Место должно определяться географическими координатами, как оно всегда выражается на карте.

33. Биосфера является, по-видимому, той частью нашей планеты, где химические процессы Земли достигают максимального выражения. Это связано с тем, что земная поверхность является приемником – частично через живое вещество – космической тепловой энергии, а также потому, что здесь собраны газообразные и жидкие вещества, которые в условиях термодинамического поля биосферы максимально химически изменчивы.

Но эта часть биосферы, захватывающая гидросферу – весь Океан, в области коры выветривания твердой литосферы охватывает меньшую по мощности и весу часть биосферы. Исключая гидросферу, она под сушей не идет глубже чем немногие сотни метров, а большую часть – на десятки метров и меньше. За ее исключением, остальные 3–4 км по характеру химических реакций резко от коры выветривания отличны. Биогенные образования здесь специфичны и в общем отходят на второй план. Жизнь проявляется в газовых реакциях – кислород в газах и в водных растворах не выходит за пределы коры выветривания. Биогенные N_2 , H_2S , CH_4 , CO_2 играют основную роль.

Характер вместилиц (мест) природных химических реакций очень своеобразен. Для огромного большинства из них изменения незаметны в историческом времени и накапливаются в сотни, миллионы лет – в геологическом масштабе времени. Характерно в этих реакциях *радиальное направление вместилиц химических процессов*. Химия биосферы должна его учитывать, т.е. учитывать ход реакций по направлению земных радиусов. На поверхности планеты это явление может быть выражено в географических координатах, и иногда в ходе геологического времени координаты почти не смещаются. Выходы газовых струй, горячих источников, сопков, вулканов в общем мало смещаются в ходе геологического времени. Водные растворы, расплавленные массы, выходы туфов, газовые массы являются местами интенсивного химического проявления. Стенки пород изменяются главным образом в ходе геологического времени или меняются в том же масштабе благодаря вертикальным смещениям – тектоническим поднятиям и опусканиям – больших областей суши и шельфа, значение которых неожиданно начинает выявляться сейчас в учении о тектонике «земной коры», т.е. реально в биосфере.

Вхождение в геологическую мысль нашего времени этих поднятий и опусканий особенно должно привлекать наше внимание.

Эти новые геологические выводы особенно важны, так как геологи к ним приходят неожиданно для себя, под давлением фактов, исходя из противоположных представлений – о сокращении «земной коры», о горизонтальных перемещениях, о шариажах.

До известной степени мы можем получить представление о происходящем процессе, например, в трансгрессиях моря, растягивающихся на миллионы лет и для данной географической координаты выражающихся в осадочных породах. Перенесенное на масштаб исторического времени, выраженное в геологическом разрезе, такое движение может быть рассматриваемо как проявление планетной *радиальной* химической реакции.

Для нас радиальная (т.е. выходящая по вертикали или вблизи вертикали по отношению к земной поверхности) химическая реакция есть *факт наблюдения*.

Мы можем в геохимии исходить, не боясь ошибки, из реального представления о данном моменте и о данной координате планеты, из химиче-

ских проявлений планеты, которая не меняет своего объема, не меняет его и по вертикали – с археозоя по крайней мере. Лишь в коре выветривания, в излияниях лав, в эрозии и т.п. мы видим явления другого рода, но эти явления, идущие в историческом времени, мы можем легко учитывать, и они геологически выражаются в вертикальных «каналах», диаметрах, трещинах, минеральных источниках, т.е. опять-таки в *радиальных* – за пределами коры выветривания – химических процессах.

О ГЕОХИМИЧЕСКОМ РАВНОВЕСИИ БИОСФЕРЫ*

<...> химическим равновесием является то, что они всегда являются *обратимыми процессами* и потому могут быть выражены в виде *круговых процессов* – т.е. в таком виде, что неизбежно рано или поздно ли для данного химического элемента мы получим в конце реакции то самое соединение – среднее устойчивое – которое было бы для него исходным. Для природной истории химических элементов такой круговой характер их геологической истории был уже установлен в¹ XIX в.

Первые для С. Потом для N?

Дюма? Либих?

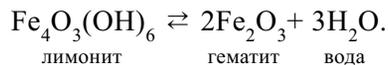
Для солей моря впервые Мор в 1865 г.

(развить)

Мы увидим, что это есть явление, общее для всех элементов и что мы не знаем ни одного исключения из этого правила.

Приведем два-три примера.

Для *железа* в коре выветривания образуется как среднее устойчивое соединение один из неполных *гидратов* – лимонит $\text{Fe}_4\text{O}_3(\text{OH})_6$. Корой лимонита (бурого железняка) при достаточном действии времени покрываются в коре выветривания все минеральные вещества, содержащие железо. Мы увидим, что живое вещество играет важную роль в его образовании (§). Это характерный фреатический минерал и в метаморфической оболочке он не существует и в ней распадается:



Такое явление метаморфизации лимонита в метаморфической области может быть наблюдаемо в различных формах: в псевдоморфозах [примеры]² или в промежуточных гидратах [примеры] или в действии растворов (например, NaCl при повышенной температуре).

(развить)

Несомненно, химическое изменение лимонита может идти значительно глубже – переход его в другие состояния железа – но в конце концов и их

* Часть рукописного наследия В.И. Вернадского, хранящегося в ЦНБ Украинской академии наук. Впервые опубликовано в: *Сытник К.М., Апанович Е.М., Стойко С.М.* В.И. Вернадский. Жизнь и деятельность на Украине. Киев: Наукова думка, 1988. С. 214–243.

¹ Далее зачеркнуто: «начале»

² Здесь и далее в данном тексте квадратные скобки поставлены В.И. Вернадским.

изменение в коре выветривания будет то же самое. Таким образом, в зависимости от своего нахождения в той или иной оболочке железо всегда будет проходить один и тот же *цикл*.

То же самое мы имеем в истории любого другого химического элемента, например *ванадия*.

(развить)

В дальнейшем изложении в биохимической истории мы на каждом шагу будем иметь эти примеры.

Существование обратимых процессов и круговой характер геохимических процессов 1-го рода, очевидно, определяет энергетический характер средних устойчивых соединений. Очевидно, процессы этого рода будут определяться основным положением, что свободная энергия процесса при окончательном его прекращении (т.е. *переходе всех химических элементов в средние устойчивые формы, их нахождения*)¹ и в результате будут образовываться как раз такие формы находений, которые² энергетически связаны с наибольшим ее использованием.

Если бы эти геохимические процессы представляли только термодинамические поля, то мы могли бы утверждать, что в результате реакции будут получаться химические соединения, связанные с максимальным поглощением тепла. Как мы видели (§), это нередко и наблюдается.

Но природный процесс гораздо более сложен – в нем действуют и другие силы: силы поверхностных, физических состояний и т.д., которые вызывают изменения и т.д.

(развить)

Принадлежность геохимических процессов первого порядка к неоднородным химическим равновесиям, обратимым процессам заслуживает внимания с другой точки зрения – с точки зрения *деградации энергии в мире*.

(развить)

Важную черту геохимических равновесий имеет количество химических элементов, принимающих в них участие. На значении сложности состава геохимических процессов мне уже пришлось останавливаться, говоря о формах нахождения элементов (§). Еще более ярко оно проявляется в самих свойствах равновесий. Очевидно, оно делает его очень сложным, увеличивает число компонентов, чрезвычайно усиливает влияние тех форм энергии, которые связаны с граничащими между разнородными компонентами поверхностями. Эта сложность химического элементарного процесса в значительной мере обуславливает сложность форм нахождения, их отклонение от форм, отвечающих обычным термодинамическим химическим равновесиям.

(развить)

От него же зависит то значение, какое получает в реакции этого рода *закон масс*.

(развить)

¹ Далее зачеркнуто: «или поглощают максимальное количество тепла или»

² Очевидно, здесь пропуск текста [ред. 1-го издания].

[Примеры: Выделение Fe_3O_4 из магмы.
Реакция соляных озер
Выделение гипса]

(развить)

В связи с такого рода характером этих геохимических процессов является, между прочим, одним из важных следствий – разделение химических элементов, образование не только их¹ обогащений (выше среднего % находений) (§), но исключая сгущение, концентрацию (§).

Эти концентрации выделяются, очевидно, главным образом в² виде сильно устойчивых форм находений элемента – однако, мы увидим, что и для других устойчивых форм нахождения характерны те же самые общие законности.

(развить)

Концентрации элементов имеют огромное значение в истории земной коры. Если мы всмотримся в их распределение в земной коре, мы увидим, что они распределяются в ней вне прямого соотношения с их средним содержанием и далеко от полного смешения. В их распределении резко отражаются их *химические свойства*, а не какие-нибудь иные.

В этом отношении реально наблюдаемый земной шар отличается от тех форм нахождения химических элементов, которые бы наблюдались – если бы в распределении элементов на земной поверхности сказывались космогонические стадии земного шара – если бы распределение их зависело от температуры или от тяготения, как это мы, по-видимому, наблюдаем в звездах.

И для нашей планеты не раз высказывались подобного рода представления о распределении в ней элементов – о влиянии на него или бывшей высокой температуры некогда расплавленной планеты, или силы тяготения в связи с скоплением тяжелых элементов ближе к центру Земли. Сейчас для всех подобного рода соображений осталась свободной лишь область нашего незнания, лежащая ниже земной коры (§). Но эта область сейчас ничем не может быть связана с биосферой и потому может быть оставлена без рассмотрения.

В пределах земной коры мы не видим никаких следов влияния этих космогонических представлений и распределение химических элементов регулируется другими силами, среди которых крупную роль играет живая материя (§).

Однако первичный состав имеющихся здесь химических элементов мы можем пока принимать только как факт и причины его для нас скрыты. Они не объясняются и ни одной из космогонических систем.

В области земной коры, благодаря неравномерному смешению химических элементов, мы должны отличать те участки, где количество данного элемента *превышает* его среднее содержание в земной коре, и области, где, наоборот, мы видим чрезвычайное их обеднение. Первые области мы будем

¹ Далее зачеркнуто: «химических областей»

² Далее зачеркнуто: «форме»

называть *химическими областями* для данного элемента, другие – областями его *химического обеднения*.

Изучение этих областей представляет большое удобство для характеристики геохимических реакций. Само собою разумеется, что имеют значение только такие отклонения от среднего, которые приближаются к максимумам, но мы не должны¹ оставлять в стороне и меньшие отклонения.

Области, так очерчиваемые, имеют различные размеры – они могут охватывать весь земной шар кругами и могут являться ничтожными по размерам площадками.

Так, *атмосфера* является химической областью для *азота* (вместо ^{*}), *водорода* ()² и т.д. Гидросфера является областью химической для *водорода* (), *хлора* (), *натрия* (), *кислорода* и т.д. И в то же самое время атмосфера и гидросфера будут областями химического обеднения для таких элементов, как элемент первой декады кремний или элемент второй декады алюминий.

Эти данные не случайны и, очевидно, они не только являются в результате химических реакций, но и определяют те, которые в этой среде возможны.

Очевидно, мы можем продолжить дальше эти деления. В литосфере резко отличаются по распределению элементов: кора выветривания, метаморфическая и магматическая оболочки.

Это видно из следующей таблицы, составленной для наиболее обычных элементов первых четырех декад:

	<i>Химическая область</i>	<i>Область химического обеднения</i>
1. Кора выветривания	– **	–
2. Магматическая оболочка	–	–
3. Метаморфическая оболочка	–	–

В каждой из этих оболочек мы имеем дальнейшие указания на изменение распределения элементов – указания, которые, может быть, дадут нам ключ к выяснению причин того распределения химических элементов, которые мы наблюдаем. Так, в более глубоких частях магматической оболочки для нас сейчас ясно выступает увеличение количества железа, магния, никеля и уменьшение количества кислорода.

К сожалению, до сих пор внимание исследователей слишком мало было обращено в эту сторону.

(развить)

Наряду с этими большими областями химических реакций мы должны в литосфере, где нет той свободной циркуляции вещества, которая наблюдается в жидкой и газообразной среде, т.е. в гидросфере и атмосфере, отличать отдельные более мелкие участки, химически резко друг от друга отличные.

¹ Далее зачеркнуто: «обращать»

² Далее зачеркнуто: «натрия (), хлора ()»

* Здесь и далее не заполнено В.И. Вернадским.

** Цифровые данные В.И. Вернадским не проставлены.

С рассматриваемой здесь точки зрения, это будут *горные породы* и *минеральные тела*. Очевидно, и здесь мы имеем характерные химические области и области химического обеднения. Очевидно, область развития известняков будет химической областью кальция и углерода и областью химического обеднения для кремния или алюминия. Если мы с этой стороны будем квалифицировать главнейшие горные породы – то мы получим:

	<i>Химическая область</i>	<i>Область обеднения</i>
Граниты	[Si, K, Pb, U и др.	Mg, Fe, Ni, Cr и др.
Диориты	Si, Na, Sr и др.	Mg, Fe, Ni, Cr и др.
Диабазы	Al, Ca, Fe, Ti и др.	Si, Na, K, Rb, U и др.]
Базальты (Кросно, Саксония)		
Гнейс	Si	Al, Fe, Ca, Mg, Na, H.
Глинистые сланцы		
Глины	O, Al, H	Si, Fe, Mg, Ca, Na, K...
Мергеля		
Известняки	Ca, C	Si, Al, Fe, Mg, Na, K, H...
Песчаники	Si, O	Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, H...

(развить)

Наряду с горными породами имеют в истории химических элементов огромное значение *минеральные тела*. Мы будем называть минеральным телом скопление какого-нибудь минерала, определяемое его парагенезисом. Название это дано по аналогии с рудным телом. Рудным телом уже давно исследователи, занимающиеся прикладной геологией, назвали ту часть местонахождения какого-нибудь полезного ископаемого, в которой оно скоплено в количествах, заслуживающих разработки. В связи с этим можно и нужно различать форму рудного тела и обогащения его полезным ископаемым и условия нахождения этого последнего, в частности его парагенезис, т.е. комплекс тех минералов, которые с ним совместно встречаются. Отсюда переходят к вопросу о генезисе рудного тела, т.е. о той геохимической реакции, в результате которой оно произошло.

При выработке понятия о рудном теле исходили из чисто практических потребностей и подошли к методу работы и научным объяснениям, далеко превышающим исходные задания. Очевидно, в достигнутых результатах является совершенно случайным и превходящим признаком использование продукта геохимических реакций человеком. Мы знаем, что это признак к тому же чрезвычайно изменчивый: то, что сегодня полезно, завтра перестает быть им и обратно, постоянно становятся полезными ископаемыми такие соединения, которые раньше оставались без внимания. По мере хода истории начинают использоваться все новые и новые химические элементы и едва ли можно сомневаться, что будут использованы в ближайшее время все.

Поэтому вполне правильно перевести все достигнутое по отношению к рудным телам целиком по отношению ко всем геохимическим соединениям и говорить не о рудных телах, а о минеральных телах – определенных участках земной коры, где находятся какие бы то ни было минералы, нахождения химического элемента, нами изучаемые.

Мы увидим, что минеральные тела получаются в качестве продуктов геохимических реакций второго порядка (§).

Можно различать разнообразнейшие формы минеральных тел, аналогично тому, что наблюдается для рудных тел, и легко убедиться, что для различных химических элементов мы будем различать разные их формы в разных оболочках земной коры.

¹По отношению к химическим областям элементов, важно при изучении геохимии рассмотреть минеральные тела с двух точек зрения. Во-первых, с точки зрения *парагенезиса химических элементов*, т.е. совместного нахождения определенных химических элементов в одном и том же минеральном теле. Очевидно, это будет наблюдаться тогда, когда химические области данных элементов будут совпадать, т.е. когда они совместно участвуют в одном и том же геохимическом процессе.

Явления этого рода обращали на себя внимание давно и несомненно являются чрезвычайно важными для понимания закономерностей геохимических процессов.

В нижеследующем сведены² некоторые результаты по минеральным телам:

Парагенезис химических
элементов

- | | |
|------------------------------------|--------------|
| 1. Пегматитовые жилы | развить типы |
| 2. Конкреционная жила
(развить) | Co, Ag, Bi |

Надо свести и по отношению к другим минеральным телам.

(развить)

Наряду с парагенезисом химических элементов при изучении минеральных тел необходимо обращать внимание на связь того или иного минерального тела с химическими элементами. Мы замечаем нередко, что некоторые химические элементы не собираются в большом количестве в определенных типах минеральных тел. Эти минеральные тела для них не будут химическими областями. Так, например, для серы³ или сурьмы нахождение их соединений в пегматитовых жилах является чрезвычайно редким; они очень обыкновенны зато в конкреционных жилах. С другой стороны, такие элементы, как рубидий или калий, очень обычны в пегматитовых жилах и редки в жилах конкреционных. На каждом шагу мы наблюдаем эти законности.

Вместе с тем⁴ это явление, по-видимому, меняется для разных земных оболочек. Однако здесь оно выражено не очень ярко и не может быть сейчас нами развито.

(развить)

Можно свести имеющиеся данные о минеральных телах, связанных с химическими элементами, в следующей таблице. Причем, как это ясно из

¹ Зачеркнуто: «С точки зрения рассматриваемой нами, можно и должно»

² Далее зачеркнуто: «главные»

³ Далее зачеркнуто: «никогда не будет»

⁴ Далее зачеркнуто: «форма нахождения»

всего – некоторые элементы не дают никаких указаний на нахождение тех или иных минеральных тел (Ar, Br).

Ag – конкреционные жилы	Cs – конкреционные жилы, кетокларки
Au – конкреционные жилы кетокларки	Ce – то же
	Cr –
As – конкреционные жилы	Co – конкреционные жилы
B – пегматитовые жилы	Cu –
Be – пегматитовые жилы	Cd –
C –	Dy – пегматитовые жилы

(развить)

В тесной связи с таким характером минеральных тел стоит вопрос о *количествах химического элемента*, в них сосредоточенных. С этим вопросом связаны многочисленные и очень любопытные законности и теоретические возможности.

Такие скопления – в виде руд – давно обратили на себя внимание главным образом с практической точки зрения. Лишь недавно на них обратил внимание Фохт с научной точки зрения, однако по отношению к определенному вопросу – вопросу о распространенности химических элементов – и не подверг этого явления достаточно глубокому анализу.

А между тем вопрос заслуживает¹ большего внимания и находится в теснейшей связи со свойствами химических элементов, с формами их нахождения и с² общим характером геохимических процессов. ³Явление заключается в следующем. Среди химической области какого-нибудь элемента мы нередко наблюдаем участки земной коры – минеральные тела, им чрезвычайно обогащенные. Это как бы сгущение данного элемента в химической его области. Все наши руды представляют из себя такие обогащения.

Эти обогащения, очевидно, могут давать далеко не все элементы. Элементы, для которых формой нахождения является только их рассеяние, никогда не могут давать – в своей химической области – никаких обогащений. Но все прочие формы находений могут давать обогащение, даже те, которые способны давать только изоморфные смеси, а не дают на земной поверхности ни определенных соединений, ни самородного состояния. Это ясно показывают нам, например, *скандий* и *индий*. Оба этих химических элемента главным образом встречаются в рассеянии, однако способны давать⁴ изоморфные смеси. Так, индий собирается в цинковой обманке в количествах⁵ до 1% In (т.е. % InS). Очевидно, для него такая цинковая обманка будет представлять *руды*, обогащение. Точно также и для скандия, количество которого в некоторых минералах пегматитовых жил еще больше.

(развить)

¹ Далее зачеркнуто: «глубокого»

² Далее зачеркнуто: «устойчивостью»

³ Далее зачеркнуто: «Прежде всего бросается в глаза, что выделения руд, т.е. удобных для получения».

⁴ Далее зачеркнуто: «сгущения»

⁵ Далее зачеркнуто: «в которых»

Однако эти случаи являются исключением. Главная масса таких обогащений наблюдается для химических элементов, способных давать определенные химические соединения или самородные состояния.

[Могут для них и вне их химических областей?]

(развить)

Появление этих соединений или самородного состояния в результате геохимических состояний, очевидно, возможно только тогда, когда эти формы нахождения будут для данного элемента устойчивыми формами.

Поэтому мы можем утверждать, что *руды будут устойчивыми формами в данной термодинамической оболочке для данного элемента*. Так как признак «руда» зависит¹ от использования данного соединения человеком, то, очевидно, это обобщение касается руд как частного случая обогащения минеральных тел элемента. Однако как указатель явления руда очень удобна, п.ч. руды наиболее изучены, чем другие минеральные тела.

Очевидно, определяя *количества*² руд, скопившихся в определенной термодинамической оболочке, мы будем иметь дело не со случайным явлением, а с определенным закономерным числом связанным: 1) с количеством данного элемента и 2) с его значением в геохимических процессах. Очевидно, в виде руды в пределах данной оболочки – до тех пор, пока руда не подвергнется геохимическим процессам первого рода (§) – входящие в руду химические элементы заканчивают свой цикл изменений, выходят из химических процессов.

Если бы мы знали точно *количества руд*, мы получили бы яркие данные для оценки геохимических процессов.

Нельзя не обратить еще внимания на то, что процентное содержание элемента в сгущении (руде), а следовательно, и в химической области зависит от химического характера элемента, т.к. рудами (и сгущениями) являются устойчивые соединения (и формы нахождения элементов).

Этим определяется богатство элементом, сгущенным в пределах химической области.

(развить)

Нельзя не обратить внимание на то, что руды являются аккумуляторами энергии (подобно всем устойчивым формам находений, ср. §), и в тех случаях, когда в их образовании участвовало живое вещество – эта энергия собрана в них, в большей или меньшей степени живой материей (ср. §).

Можно свести по элементам наши знания о сгущениях (рудах) элементов в следующей таблице.

В ней I – кора выветривания,

II – метаморфическая оболочка.

III – магматическая оболочка.

Отдельные подразделения оболочек не нанесены. Звездочкой обозначены редкие скопления. Химические элементы распределены по алфавиту.

¹ Далее зачеркнуто: «отчасти»

² Далее зачеркнуто: «этих»

1. Азот N(I) (75% N)
селитра – NaNO_3
[Внести % максимальные или при-
меры
в тоннах]
2. Алюминий: глина (I)
каолин $\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (I)
* криолит (III)
ортоклаз (III)
плаггиоклазы (лабрадор)
(III)
берилл (III)
боксит (I)
* амблигонит (II)
корунд (II, III)
слюда (II, III)
хлорид (II)
3. Аргон Ar (I)
4. Барий: барит – BaSO_4 (II, I?)
* витерит BaCO_3 (II)
5. Бериллий: берилл – $\text{Al}_2\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$ (III)
6. Бор: бура (I)
* колеманит (I)
прицеит (I)
турмалин ?
7. Бром: неизвестны?
вода
организмы? (I)
8. Ванадий: тюнмунит
* карнотит
* ванадинит
9. Висмут: самородный висмут (II)
карбонаты висмута (I)
висмутовый блеск (II)
* гидробисмут (I)
* базобисмут (II или III?)
10. Водород: вода (I) [Обдумать –
которые вносить?
глины (I)
боксит (I)
тальк (II) > 1%?]
хлорид (II)
слюда (II, III) сгущение?
11. Вольфрам: вольфрамит
шеелит
12. Гадолиний – нет?
13. Галий – нет
14. Гелий – нет?
15. Германий – нет?
16. Железо – пирит
магнитный колчедан
магнитный железняк
лимонит
17. Золото: самородное
теллуриды
18. Индий: цинковая обманка?
19. Иридий: иридий осмий
20. Иттербий – нет?
21. Иттрий – самарскит?
22. Иод – нет?
организмы?
23. Кадмий – цинковая обманка?
24. Калий – лейцит
ортоклаз
нефелин?
сильвин
карналлит
25. Кальций – кальцит
гипс
доломит
плаггиоклаз
гранит?
26. Кислород
27. Кобальт – смальтин
кобальтин
28. Кремний
29. Криптон: – нет
30. Ксенон: нет
31. Лантан: монацит?
32. Литий: лепидолит
цинвальдит
сподумен
33. Магний: магнезит
тальк
доломит
34. Марганец: пиролюзит
вад
манганит
35. Молибден: молибденит
36. Мышьяк: мышьяковистый колчедан
мышьяк
реальгар
аурипигмент
37. Медь: медь
малахит
халькопирит
38. Натрий

- | | |
|--|--|
| 39. Неодим: нет? | 58. Стронций: целестин
стронцианит |
| 40. Неон: нет? | 59. Сурьма |
| 41. Никель: гарниерит
пентландит | 60. Сера: сера
пирит |
| 42. Ниоб* | 61. Таллий |
| 43. Олово: оловянный камень
* станнин | 62. Тантал |
| 44. Осмий | 63. Теллур |
| 45. Палладий | 64. Тербий – нет |
| 46. Платина | 65. Титан – титанистый железняк
титаномагнетит
глины?
рутил |
| 47. Празеодим | 66. Торий |
| 48. Радий | 67. Тулий – нет? |
| 49. Родий | 68. Углерод |
| 50. Ртуть | 69. Уран |
| 51. Рубидий | 70. Фосфор |
| 52. Рутений | 71. Фтор |
| 53. Самарий | 72. Хлор |
| 54. Свинец: галенит
церуссит
англезит
пироморфит
миметезид
ванадинит
крокоит | 73. Хром |
| 55. Селен | 74. Цезий |
| 56. Серебро | 75. Церий |
| 57. Скандий | 76. Цинк |
| | 77. Цирконий |
| | 78. Европий |
| | 79. Эрбий |

(развить)

В предыдущих примерах минеральных тел мы имели дело не только с средними устойчивыми телами, характеризующими главную массу продуктов элементов и характеризующими геохимические реакции первого порядка. Вместе с ними встречаются и продукты геохимических реакций второго порядка – устойчивые формы нахождения, образующиеся местами на земной поверхности, которые требуют некоторых особенных условий для своего сохранения.

Разница между средними устойчивыми формами нахождения и устойчивыми формами нахождения заключается в том, что последние сохраняются неизменными в особых областях данной термодинамической оболочки. Очевидно, эти особенные условия *геологически* не прочны; в течение геологического времени они рано или поздно исчезнут и тогда устойчивые формы нахождения неизбежно перейдут в средние устойчивые формы.

Однако и обратно – в особенных¹ условиях данных местностей термодинамической оболочки средние устойчивые формы нахождения, вообще говоря, будут также подвергаться изменениям, будут переходить в устойчивые формы. Мы имеем здесь дело тоже с *круговым процессом* – но это будет *геохимический процесс второго порядка, т.е. идущий всецело в пределах данной оболочки*.

¹ Далее зачеркнуто: «формах их»

Такие явления наблюдаются на каждом шагу и, например, очень резко выражены в коре выветривания. Совершенно разны в очень многих случаях устойчивые формы в гидросфере и литосфере – так, например, для¹ марганца в первом случае устойчивыми будут вады, а во втором безводная двуокись – MnO_2 (пиролюзит). Если пиролюзит – среднее устойчивое соединение марганца в коре выветривания попадает в гидросферу – он должен перейти в вад. Для алюминия устойчивой формой в коре выветривания является глина – каолин – $K_2Al_2Si_2O_8 \cdot H_2O$. Однако в тропических областях (§) при известных условиях эта форма переходит в боксит² – $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$.

(развить)

Области, связанные с образованием этих вторичных, если можно так выразиться, устойчивых форм нахождения элементов, образуются при различных условиях.

Можно различить две группы таких областей: 1) область в пределах данной термодинамической оболочки, связанная с другой термодинамической оболочкой, и 2) область, всецело зависящая от вещества и энергии одной термодинамической оболочки.

В первом случае мы опять-таки можем различить два разных типа, в зависимости от формы передачи – смещения вещества из одной термодинамической оболочки в другую. Очевидно, мы исключаем те случаи, когда сплошь на большом пространстве вся оболочка переходит в новые термодинамические условия, как бы становится частью другой оболочки. В этом случае мы имеем дело с геохимическим процессом первого порядка.

Но очень часто вещество оболочки остается нетронутым, на месте – сохраняется в прежнем своем термодинамическом поле, но в него входит вещество другой термодинамической оболочки, внося с собой и физические условия и химический состав иных равновесий.

В этом случае мы имеем возможность наблюдать два типа явлений в зависимости от характера такого внедрения, идущего на широком пространстве или очень местного (§).

По существу то же самое морфологическое строение явления мы наблюдаем и во втором типе геохимических реакций, когда все вещество не выходит за пределы данной термодинамической оболочки. С одной стороны, мы имеем большие отделы оболочек или *химические области*³, как это мы видели в примерах предыдущего параграфа. Атмосфера и гидросфера в коре выветривания дают совершенно иные устойчивые формы нахождения вещества, чем ее литосфера⁴.

⁵С другой стороны, мы имеем небольшие области частных химических реакций в пределах данной области. Например, в⁶ гидросфере в областях разложения H_2S , например в придонных областях Черного моря, меняются условия

¹ Далее зачеркнуто: «воды»

² Далее зачеркнуто: « H_2Al »

³ Далее зачеркнуто: «так например, во»

⁴ Далее зачеркнуто: «коры выветривания»

⁵ Зачеркнуто: «То же самое мы имеем и внутри данной области вследствие частных химических ее изменений».

⁶ Далее зачеркнуто: «литом»

устойчивости средних устойчивых соединений и, например, такие тела, как сульфаты, здесь восстанавливаются. Точно то же самое наблюдается в местах скопления гниющего органического вещества и т.д.

(развить)¹

Обращаясь к первому типу вторичных круговых реакций – связанного с вхождением в данную термодинамическую оболочку вещества из другой оболочки, несущего отображение термодинамических свойств этой второй оболочки, надо заметить следующее.

Все реакции этого рода всегда носят *круговой характер геохимических реакций второго порядка* в том смысле, что как только прекратится такое внедрение чужого вещества, начнется изменение всех образовавшихся тел в среднюю форму, устойчивую для данной оболочки. А так как само образование этих вхождений вещества из другой оболочки есть явление закономерное, то и круговой характер процесса есть не случайность, а обычное явление.

Среди таких процессов можно различить два разных:

1) представляет характер некоторой тонкой оболочки, охватывающей всю границу между двумя оболочками и

2) состоит из отдельных небольших областей соприкосновения между двумя оболочками, как бы узкие каналы между ними. Иногда этим путем могут проникать вещества и из оболочек, между собою вообще не соприкасающиеся, например, в кору выветривания могут попадать вещества из магматической оболочки – например, таковы излияния лав на земную поверхность или выход на нее ювенильных газов. В этом случае лавы и газы несут в своем составе отпечаток той среды, из которой они происходят.

К первому типу принадлежат² области пограничные между разными оболочками. Мы имеем здесь следующие случаи:

- I. Между гидросферой и атмосферой – *планктонный слой*.
- II. » » и литосферой – *придонный слой – слой морской или океанической грязи*.
- III. »³ твердой корой выветривания и атмосферой – почва.
- IV. Между твердой корой выветривания и метаморфической оболочкой – *кислородная поверхность*.
- V. Между метаморфической оболочкой и магматической оболочкой

Весьма возможно, что существует своеобразная химическая область и между магматической оболочкой и внутренним ядром земного шара (батиосферой). Но она нам совершенно почти неизвестна по своим свойствам и играет очень малую роль с точки зрения биосферы.

Точно так же может быть нами оставлена без внимания и V пограничная оболочка по тем же основаниям.

Зато огромное значение имеют I–IV области. Мы увидим ниже, что эти области все будут *биохимическими областями*, т.е. такими областями, в которых живое вещество играет доминирующую роль в геохимических процессах (гл. §). В то же самое время для всех этих областей есть свои устойчивые

¹ Далее зачеркнуто: «и переработать»

² Далее зачеркнуто: «оболочки»

³ Далее зачеркнуто: «литосферой»

формы¹ нахождения химических элементов, не совпадающие с обычными формами.

Так, например, в планктонном слое мы имеем для углерода неустойчивой формой уголекислоту, обычно столь для него прочную (см. §), для азота (§) здесь неустойчив самородный азот. В обоих случаях регулятором химических реакций является живое вещество. Среда планктонной пленки чрезвычайно активна и не имеет таких устойчивых форм нахождения, какие характеризуют гидросферу.

Это самое мы наблюдаем и для II–III пленок, так как и здесь мы имеем то же самое регулирующее влияние живого вещества, как и в планктонном слое. А для всех таких оболочек, ввиду богатого источника свободной химической энергии, каким обладает живое вещество, это является характерным (§).

Поэтому и здесь мы может давать главным образом *отрицательные признаки: отсутствие устойчивости для наиболее устойчивых форм нахождения данного элемента*. Так, во второй пленке (морской грязи) неустойчив для железа – $\text{Fe}_4\text{PO}_3(\text{OH})_6$: здесь легко получают гидраты сернистого железа, для Ca – неустойчив $\text{CaCo}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и CaCO_3 и т.д. Для третьей пленки (почва) – неустойчив для Ca – CaCO_3 , для P – апатит, для AlSi – каолин и т.д.

Немного иную картину мы имеем только для четвертой пленки, в зависимости от того, что мы здесь имеем дело не с самим живым веществом, а с продуктами его изменения или его жизнедеятельности.

Само название этой кислородной поверхности указывает на ее наиболее характерный признак: эта поверхность, ограничивающая область свободного кислорода, не находящегося в соединении с другими элементами; ниже ее его нет, выше ее он находится. Кислород исчезает в значительной мере потому, что он потребляется организмами или органическими соединениями, ими выработанными.

По-видимому, на границе кислородной поверхности есть развитие своей микробной жизни? [Необходимо выяснить не идет ли ряд процессов образования соединений, осаждающихся в этой области биохимическим путем? На это есть некоторые указания? Не было никогда достаточных наблюдений и опытов?].

В этой тонкой пленке, где постоянно меняются условия окисления, связанные с избытком или присутствием кислорода или его отсутствием и исчезанием и где температура в общем выше средней температуры данной местности на земной поверхности, находятся условия, делающие неустойчивыми как обычные устойчивые формы выветривания, так и метаморфической оболочки.

В частности, здесь в воде исчезают сульфаты и потому чрезвычайно легко получают растворимые сернистые щелочи и щелочные земли и легко образуется сероводород; в смеси жидких и твердых тел, здесь находящихся, очень легко и обычно образуются сернистые металлы, иногда их гидраты, выделяются самородные металлы и т.д.

Все эти реакции идут особенно энергично там, где происходит приток вещества из метаморфической или магматической оболочек, в тех каналах, а в данном случае жилах – по которым притекают менее обычные элементы или

¹ Далее зачеркнуто: «соединений»

необычные их комбинации. Здесь, на границе двух оболочек идет энергичное образование минералов, изменяющихся, когда они попадут в ту или иную из них. Таковы, например, многие сульфамышьяковистые и сульфасурьмянистые соли тяжелых металлов, устойчивых только здесь, и многие формы мышьяковистых соединений самородных элементов.

Нельзя не отметить здесь и другой характерной черты этой области – присутствие не превращенных в CO_2 органических веществ, продуктов живой материи и связанных с ней газов CO_4 , CH_4 , H_2S , придающих всем этим реакциям особый оттенок.

Уже из¹ приведенного в предыдущем параграфе примера мы видим, что особенное значение с точки зрения геохимических реакций имеют каналы, соединяющие две оболочки, приводящие вещество из одной в другую.

Мы имеем следующие типы этих каналов:

- | | |
|-----------------------|------------------------------|
| 1. Вулканы | 5. Жилы |
| 2. Сопки | 6. Пегматитовые жилы и дайки |
| 3. Горячие источники | 7. Диатремы |
| 4. Холодные источники | 8. Газовые струи |

(развить)

Значительно сложнее и разнообразнее будут геохимические реакции второго рода в пределах каждой оболочки, всецело зависящие и от ее вещества, и от ее энергии. Несомненно, в ее пределах они будут господствующими.

Они будут, с одной стороны, иногда очень *местными*, захватывающими небольшие, иногда очень мелкие участки данной оболочки, с другой стороны – всегда *временными*. С геологической точки зрения они будут только эпизодами в истории данного участка земной коры, однако эпизода не случайного, а повторяющегося, так как вызывающие их причины не являются чисто случайными причинами, а теснейшим образом связаны со всем строением нашей планеты и ее положением в солнечной системе. Для данного места являются временными даже такие огромные области химических реакций, например коры выветривания, как гидросфера или суша, в геологическое время меняющиеся. Очевидно, еще быстрее и резче будут сменяться более местные системы геохимических реакций второго порядка, например, те изменения в ходе химических реакций, которые происходят в сгущениях живого вещества разного рода (§) в коре выветривания.

Однако хотя² такая смена и происходит, но в данный момент времени в разных частях данной оболочки одновременно всегда существуют все или почти все возможные области этих геохимических реакций второго порядка. Это одно уже указывает на их закономерность.

По-видимому, в течение геологического времени не наблюдается исчезновение какого бы то ни было из возможных типов систем этих реакций, а замечается лишь их чередование и перемещение в пределах оболочки.

Большая сложность и разнообразие геохимических реакций этого рода выражается еще в двух обстоятельствах: 1) источники их энергии более разнообразны, чем мы это видели для геохимических реакций первого порядка

¹ Далее зачеркнуто: «последнего»

² Далее зачеркнуто: «разнообразии»

и даже для того типа реакций второго порядка, которые связаны с обменом между оболочками, и 2) далеко не все эти реакции носят круговой характер.

Разнообразие источников энергии связано с тем, что в местных колебаниях химических процессов может играть преобладающую роль всякий источник энергии, существующий в данной термодинамической оболочке, например, в коре выветривания местная реакция может идти в зависимости от тихого разряда электрических колебаний, как мы это и видим в атмосфере, где этим путем образуются особые химические соединения (например, азот, §).

Неизбежность¹ реакций² иного типа, чем круговые, ясна из того, что все продукты этих геохимических реакций – после прекращения условий существования системы – переходят неизбежно в средние устойчивые соединения данной оболочки и в пределах данной оболочки на этом процесс может закончиться.

Однако и здесь есть круговые реакции второго порядка в тех случаях, когда мы имеем в течение геологического времени возвращение к прежней форме системы. Так, например, появление и удаление гидросферы (трансгрессия и отход моря) вызывают в данном участке коры выветривания неизбежные и закономерные изменения устойчивых форм нахождения элементов, круговые геохимические реакции второго порядка.

Иногда эти реакции сменяются очень быстро, например, в приведенном примере тихих электрических³ разрядов атмосферы или во время временных сгущений – снежных покровов или покрытие льдом водных бассейнов и т.п.

Не входя в подробное исчисление этих реакций, необходимо остановиться в самых общих чертах на различии форм энергии, их вызывающих в различных термодинамических оболочках. В коре выветривания мы остановимся отдельно для больших ее частей – атмосферы, гидросферы и суши (литосферы).

В атмосфере совершенно особой областью является верхняя ее часть, где идет поглощение ультрафиолетовых лучей Солнца (§).

[Оно связано с целым рядом разнообразнейших реакций, в значительной мере нам неизвестных, т.к. по-видимому верхняя часть атмосферы резко отделена от более нижних ее частей.

Образование озона, окислов азота, аммиака?

Области, связанные с циркуляцией вод. Поднятие облаков. Значение плавающей воды с точки зрения улавливания пыли и гидратации.

Грозы.

Тихие разряды].

(развить)

В гидросфере мы должны химически выделить несколько ее областей, резко сказывающихся, например, в истории газов в гидросфере.

Мы должны здесь различить область планктона. История газов на поверхности (сравни азот, §).

¹ Далее зачеркнуто: «не круговых; обратимых»

² Далее зачеркнуто: «ясна»

³ Далее зачеркнуто: «реакций»

Значение узких фиордов и мало подвижных глубин в этих местах (сравни сера, §).

Медленные процессы растворения в массах толщи безжизненных или маложизненных. Падающие организмы исчезают, CaCO_3 растворяется.

О грязи дна уже говорилось (ср. §).

(развить)

[Еще более разнообразны явления, которые мы наблюдаем на суше. Здесь распределение первой или главной формы областей геохимических реакций упрощается тем, что мы имеем все время дело с биосферой. Ввиду сложности и разнообразия происходящих явлений можно выделить большие и меньшие области.

Большие – сгущения и азойные перерывы

Примеры].

(развить)

На фоне сгущений и азойных перерывов развиваются более мелкие подразделения.

Соляные озера.

Области скоплений органического гниющего вещества (восстановительная среда).

Диогенез осадочных пород и энергия с этим связанная.

Отложения карбонатов. Связаны с озерами?

(развить)

В *метаморфической оболочке* мы имеем области резко отличных химических реакций в связи с различным характером ее более поверхностных и более глубинных частей (§).

Химические реакции более глубинных частей нам сейчас известны только в самых общих чертах и мы можем говорить о них лишь с большой осторожностью.

[Развить о геохимических процессах более глубинных частей метаморфической оболочки. Здесь вещества из коры выветривания окончательно изменяются, но мы лишены возможности различать, имеем ли мы дело с тем или другим веществом.

Несомненно, значительная часть вещества этой части оболочки проходит через пары выветривания. Какая?]

(развить)

Значительно более известны нам геохимические реакции более близкой к нам метаморфической оболочки, в которой как раз играют большую роль продукты распада живого вещества.

Среди разных типов геохимических процессов второго порядка коры выветривания, вызывающих образование особых устойчивых форм нахождения, играют особую роль *контактные метаморфические местонахождения*.

[Их характеристика. Они связаны с нахождением тел различного химического состава, связанные с различием происхождения участков метаморфических оболочек. Значение и типы контактных процессов:

1. Выделение газов, например, на контакте CaCO_3 и силикатовой породы.

2. Проникновение водой.

(развить)].

Другой тип – *региональные контактные явления*. Их сжатый обзор.

Зависимость их от проникновения отдельных участков литосферы или газами, или водными растворами. Может быть, имеет значение разность нагрева этих участков.

Примеры различия устойчивых форм для регионального и контактного метаморфизма.

(развить)

[Есть или нет другие случаи подобного рода?

Вопрос о пьезометаморфизме].

(развить)

Если явления в метаморфической оболочке имеют для нас значение с точки зрения истории живого вещества, то геохимические процессы второго порядка в пределах III магматической оболочки имеют для нас более теоретический интерес. Мы очень плохо в них осведомлены и они исчезают из нашего рассмотрения. Важно только одно – полной однородности мы и здесь не имеем и, очевидно, такие реакции идут.

(развить)

Если мы пытаемся свести наши знания об источниках геохимических процессов второго порядка в разных оболочках – мы увидим:

I. оболочка: живое вещество
(энергия Солнца)

» химическая энергия
энергия Солнца

Еще очень не ясно все это.

III оболочка – концентрация энергии
I и II и по существу космической?

II. » : живое вещество
химическая энергия
сила тяготения

III. » : химическая энергия
космическая энергия

(развить)

Однако, помимо всех этих источников энергий, несомненно основную и существенную роль играют свойства самого вещества, химическое изменение которого производит весь химический процесс.

Эти изменения и свойства самого вещества, к сожалению, остаются для нас гораздо более загадочными и труднее поддаются научному учету и предвидению, чем какие бы то ни было привхождения в процесс внешней энергии. Между тем внешняя энергия только меняет и определяет ход химического процесса, который производится *внутренней энергией вещества*.

Очевидно, если даже в области более простых химических реакций мы очень мало можем оценить проявления молекулярных сил, воздействующих

на химический процесс, тем меньше мы можем это выяснить в области геохимических процессов. Однако кое-какие эмпирические указания мы имеем.

(развить)

Область этой энергии можно разделить на 4 группы:

1. Область атомной энергии – радиоактивные явления.
2. Область химической энергии.
3. Область молекулярной энергии, которую мы разделим на две группы:
 - а) энергия, связанная с агрегатным состоянием тел, и
 - б) энергия, связанная с контактными явлениями, явлениями поверхностного натяжения.

Я рассматриваю здесь только эту последнюю группу энергии, так как проявление ее связано с особенностями в структуре земной коры. К сожалению, явления радиоактивности в земной коре изучены до такой степени недостаточно, что мы вынуждены пока оставить их в стороне, хотя едва ли можно сомневаться в их значении в окружающей природе.

Из трех агрегатных состояний вещества – твердого, жидкого и газообразного – в химических реакциях наших лабораторий играют наибольшую роль жидкое и газообразное состояние. В сущности, мы изучаем до сих пор химические реакции почти исключительно между жидкими и газообразными компонентами. Активное участие в реакции наших лабораторий твердого компонента является исключением.

В среде геохимических процессов это далеко не так. Правда, и здесь играют выдающуюся роль жидкая и газообразная материя, но в то же самое время значительное количество геохимических реакций идет исключительно в твердой среде и твердые вещества участвуют в этих процессах в размерах, которые не имеют никакой аналогии в химии наших лабораторий. Малая опытная изученность химических процессов в твердой среде составляет одну из причин слабого развития минералогии и геохимии. Несомненно, мы здесь сталкиваемся с некоторыми условиями хода таких реакций, чрезвычайно неблагоприятными для постановки опытов. Реакции в твердой среде идут *чрезвычайно медленно* и ускорение в их ходе может быть иногда достигнуто только таким условием внешней энергии (напр., температуры или давления), которое связано с переходом материи в другое агрегатное состояние.

(развить)

¹[Геохимические процессы при участии твердых компонентов].

Это наиболее распространенная форма геохимических реакций. Мы можем здесь различать несколько случаев:

- а) все или главная масса компонентов процесса твердые и
- б) твердые компоненты составляют меньшую часть химической² среды.

Явления, очевидно, будут в чрезвычайной степени зависеть от внешней энергии – от температуры и давления. Они будут в зависимости от этого идти резко различно в разных оболочках и около каналов (§) между оболочками. Проявление этого различия мы уже видели раньше (§). После опытов Спринга

¹ Зачеркнуто: «Реакции.»

² Далее зачеркнуто: «их реакции»

сделалось общим местом влияние давления на изменение хода химических реакций между твердыми веществами, хотя, как мы это видели для пьезоэлектричества, вопрос далеко не так ясен (§).

Но если влияет внешняя энергия на ход химических реакций в твердой среде, то еще более влияет энергия внутренняя – то различие в свойствах материи, которое связано с различием внутренних и внешних слоев твердого тела. По-видимому, это различие в твердой среде гораздо резче, чем в жидкой, в которой, как мы знаем, оно резче, чем в газообразной, где мы можем оставить без рассмотрения эти явления.

(развить)

Ввиду значения, которое имеет в химических свойствах твердой материи энергия, связанная с поверхностным натяжением, и невозможности разграничивать эти обе области свойств твердого тела, необходимо рассмотреть раньше проявления поверхностного натяжения твердого тела в геохимических процессах.

(развить)

По-видимому, мы имеем здесь такого рода процесс.

Вся энергия твердого тела распадается на две:

e_1 – энергия внутренних слоев или энергия агрегатного твердого состояния и e_2 – энергия наружных слоев или энергия поверхностного натяжения. При обыкновенных условиях температуры и давления энергия e_2 является гораздо более химически активной (легче переходит в химическую энергию?), чем энергия e_1 .

Проявление энергии e_2 (в твердом теле) в геохимических процессах достигается теми же процессами, какие мы наблюдаем и в химических реакциях лабораторий – *измельчением и распылением* твердого тела, т.е. увеличением его поверхностной энергии e_2 . Мы знаем из лабораторной практики, что основным¹ условием быстрого и полного до конца хода химических реакций является возможно тонкое² размельчение твердого компонента.

Процесс такого размельчения твердого тела идет и в земной коре в огромном масштабе и определяет значительную часть их геохимических процессов. Эти процессы особенно мощно идут в рыхлой и порошковатой среде (§). Это размельчение твердого вещества в земной коре производится механическим путем, причем можно отметить³ несколько источников механической энергии: 1) энергия Солнца – разница температур, движение ветра или воды; 2) энергия всемирного тяготения – падение воды, прилив и отлив и т.п.; 3) энергия молекулярная – ⁴ движение ледников, газов, выделяющихся в химических процессах⁵; 4) энергия химических процессов (например, вулканических извержений) и, наконец, 5) энергия организмов – живой материи. Мы увидим, что эта последняя играет огромную роль в этом процессе,

¹ Далее зачеркнуто: «явлением»

² Далее зачеркнуто: «разрыхление»

³ Далее зачеркнуто: «четыре, три»

⁴ Далее зачеркнуто: «поверхностного натяжения»

⁵ Далее зачеркнуты ссылка и подстрочное примечание: «Непосредственный переход химической энергии (например, в вулканическую)».

до сих пор, мне кажется, недостаточно учитывается в общей истории земной коры (§).

Как бы то ни было, твердое вещество размельчается на земной поверхности и является в этом состоянии значительно более химически активным.

Но такое твердое размельченное вещество свойственно только первой, наружной, оболочке земной коры, как раз области биосферы. Уже во второй и третьей оболочках начинают могущественно действовать причины, приводящие к цементации твердого вещества, к уменьшению в ней энергии e_2 – такого рода причиной, основной, является *давление*. По мере увеличения давления рыхлые массы твердого вещества сжимаются.

(развить)

Однако и здесь остается область проявления энергии e_2 , связанная с тем, что сжимаемые частицы твердого тела неоднородны. Разница между этой энергией e_2 и той, которую мы наблюдаем в коре выветривания, заключается только в том, что в рыхлых, порошковатых массах e_2 развивается на границе твердой и жидкой или газообразной среды, а в сжатых и сдавленных массах твердого вещества e_2 развивается *на границе двух твердых веществ*. Я буду называть эту энергию e_2 . Это будет *энергия контактных процессов* (§) и она будет характерна для метаморфической и магматической оболочек.

Нельзя не обратить внимание на общее значение указываемого здесь процесса. На земной поверхности под влиянием, как мы видим, главным образом энергии Солнца могуче развивается процесс разрыхления твердого вещества и размешивание его разнородных по составу частиц. Увеличивается его поверхностная энергия e_2 и благодаря этому увеличивается интенсивность геохимических процессов, в которых принимает участие твердое вещество. По мере того, как эти разрыхленные части поверхностной земной оболочки попадают под действие давления, переходя в другую оболочку (§), исчезает энергия e_2 , но начинает действовать другая – e_2 – и она обуславливает новые и оригинальные химические реакции.

Будет правильным видеть источником этой энергии e_2 все те же формы энергии, которые возбуждают разрыхление твердого вещества в земной коре, в том числе и живую материю (§).

В тесной связи с таким характером твердого вещества мы видим и любопытные проявления геохимических процессов в этой среде:

В рыхлой среде: конкреции
метасоматические замещения
(развить)

В сплошной среде: метасоматические замещения
контакты
конкреции

Отдельно могут быть поставлены такие контактные действия, при которых данное твердое вещество не меняется, но меняется химический процесс, в его присутствии происходящий.

(развить)

Есть еще одно свойство твердого вещества, которое сказывается в химических реакциях земной коры, по-видимому, весьма существенным образом

и, может быть, имеет некоторое отношение к конкретным явлениям, рассмотренным в предыдущем параграфе.

Это условие нахождения в земной коре так называемых аморфных тел и их переход в кристаллическое состояние.

Несмотря на то, что на них было обращено в последние годы огромное внимание и достигнуты в этой области большие результаты, мы все-таки имеем здесь область очень неясную и неопределенную в ее свойствах и в ее значении в геохимии.

Характерно и бросается в глаза, что твердые аморфные тела встречаются только в одной, верхней оболочке земной коры, в коре выветривания, в биосфере. Есть попытки подчеркнуть даже значение того явления, что и свойства живого вещества в значительной степени обусловлены такого же рода состоянием материи и что это совпадение не является случайным. Живые вещества, в свойствах которых аморфное состояние (в коллоидальных телах) играет такую огромную роль, появляется только там, где может существовать аморфное твердое состояние материи (§).

Твердые аморфные тела появляются только в *коре выветривания*; их совершенно нет в метаморфической оболочке и едва ли они существуют в области магматической.

Под влиянием *давлений* они переходят в явно кристаллическое строение и этот процесс перекристаллизации сопровождается в природе разнообразными, к сожалению, до сих пор неизученными химическими изменениями, очевидно идущими под влиянием мощного проявления молекулярных сил.

(развить)

Какой процесс происходит при перекристаллизации – переходе твердого тела из аморфного в кристаллическое состояние – не совсем ясно. Прежде считали, что аморфное состояние является формой аналогичной жидкому состоянию материи и переход его в кристаллическое состояние¹ тождественен с переходом из одного физического состояния материи в другое. И действительно, по характеру полиморфизма едва ли может сейчас представляться сомнительным, что аморфному состоянию нет места среди твердых состояний материи. В последнее время, однако, выясняется, что аморфное состояние отличается только величиной зерен от твердого тела и что его перекристаллизация является аналогичной не переходу вещества из одного физического состояния в другое, а явлениям роста кристаллических зерен, тому типу, например, который наблюдается при переходе мела или известняка в мрамор. Аморфное тело состоит из мельчайших кристаллов, однако благодаря малым своим размерам свойства его отличны от свойств обычного твердого тела. В нем чрезвычайно резко проявляются свойства той энергии, которую я назвал кристаллической, или векторальной, энергией, и которая развивается на границе двух одинаковых по составу и кристаллическому классу кристаллов, если векторы их не параллельны.

Не вдаваясь здесь в рассмотрение этого вопроса, мы должны все-таки отметить, что с энергетической точки зрения мы имеем здесь особую энергию,

¹ Далее зачеркнуто: «аналогичен»

чем какая проявляется в случаях, рассмотренных в §§. И, очевидно, и ее химическое проявление будет иное.

(развить)

Аморфные тела встречаются в других состояниях – в чисто твердых веществах и в смеси с жидкостями (или газами?).

Переход от них в жидкости.

Огромно значение этих *коллоидальных тел* во всех химических реакциях коры выветривания.

Конкреции. Корки и т.д.

(развить)

По-видимому, при свертывании идут химические реакции, которые при других условиях идут только при высоких температурах?

(развить)

Среди жидкостей, которые наблюдаются в земной коре и обуславливают их реакции, мы имеем *две* имеющих значение: вода и углеводороды.

Значение воды. О ней смотри §. Энергия e_2 .

Разный характер воды в оболочках. Химическое и физическое различие воды вадозной, фреатической и ювенильной (не по генезису, а по местонахождению)

(развить)

Об углеводородах – нефтях – трудно говорить? (Нужно ли?)

Огромное значение в геохимических реакциях земной коры играют *газы*. Роль их до сих пор недостаточно выяснена и, мне кажется, совсем не уточнена в геологии и геохимии.

Газы находятся во всех¹ земных оболочках и мы имеем все указания на то, что и в более глубоких слоях земной коры мы имеем их же, и вполне возможно и допустимо такое строение нашей планеты, что внутри ее мы имеем скопление газов.

Среди газов мы имеем немногие, которые преобладают по своему значению и по своему количеству в геохимических реакциях и которые общи всем земным оболочкам. Это и понятно благодаря свойствам газов – их способности всемерного распределения.

Таковыми газами являются в земном шаре: 1) *элементы*: O, N, Ne, H, Ar, Ne, Kr, Xe; 2) *окислы* CO₂, SO₂, SO₃, H₂O; 3) *водородистые соединения*: HN₃, H₂S², CH₄ (и другие углеводороды).

Как мы видим, это все тела чрезвычайно простые и устойчивые. Некоторые из них являются совершенно химически инертными; другие – более или менее быстро изменчивыми в той или иной оболочке. Я не буду здесь касаться их химической истории³, так как с этим мы встретимся в дальнейшем изложении при биохимической истории отдельных элементов. Здесь же необходимо сделать лишь несколько общих замечаний.

¹ Далее зачеркнуто: «частях»

² Далее зачеркнуто: «H₂O»

³ Далее зачеркнуто: «но необходимо лишь в нынешних»

Во-первых, газы в земной коре являются чрезвычайно важными регуляторами тепловой энергии. Газы имеют температуру оболочки, где они образуются или где они находятся. Поэтому газы магматической или метаморфической оболочки нагреты и несут в кору выветривания теплоту этих слоев. С другой стороны, газы коры выветривания (и относительно для магматической оболочки газы метаморфической оболочки) холодные и понижают температуру этой оболочки, в которую они проникают.

Несомненно, мы имеем в земной коре постоянно идущий обмен холодных и теплых газов и этот обмен, к сожалению малоизученный, играет большую роль в геохимических процессах.

Другая очень характерная черта земных газов заключается в том, что – исключив благородные газы – мы имеем среди них соединения только тех элементов, какие входят в состав организмов – O, N, C, H и S. Это явление едва ли случайное (§) и в то же время мы знаем, какое значение имеет газовый обмен в жизни живого вещества¹. В тесной связи с этим находится и то, что в истории всех этих газов биохимический процесс играет огромную роль (§), и эти газы являются носителями той энергии, которую организмы берут от Солнца.

Кроме этих основных газов мы имеем газы как бы вторичного значения и более сложного состава. Они мало и редко участвуют в обмене между земными оболочками.

Сколько мы знаем, эти газы главным образом образуются в коре выветривания и в магматической оболочке.

[В метаморфической такие, как C, S, O углеводороды, C, N, O?].

(развить)

В коре выветривания главным образом органические тела (см. углерод, §). В магматической оболочке соединения металлов и галоидов?

(развить)

Чрезвычайно характерную черту для среды геохимических реакций во всех земных оболочках представляет теснейшая смесь веществ всех агрегатных состояний. Химическая реакция нередко идет в полужидких массах, пронизанных газами и в этом смысле эти реакции отличаются от тех, которые обычны в наших лабораториях.

В *коре выветривания* мы имеем такие смешения и идущие в них своеобразные геохимические реакции даже в *атмосфере*, где постоянно идет выделение твердых и жидких частиц в газообразной среде. Переход воды в жидкое и твердое состояние, совершающийся постоянно и непрерывно, ярко отражается на химических реакциях, идущих в атмосфере. С гидрометеорами из атмосферы уносятся одни соединения, в них идет образование других. Так этим путем соединения NH_3 , SO_3 и т.д. попадают на земную поверхность, в этой среде идет окисление NH_3 , H_2S , CH_4 и т.д. (§). Наряду с водой значительный слой *пылевой атмосферы* окружает земной шар и представляет характерную сторону всех химических реакций атмосферы. Эта пылевая атмосфера снизу поднимается до 6 км от поверхности земли.

Сверху атмосфера с космической пылью?

(развить)

¹ Далее зачеркнуто: «Кроме этих газов»

Точно так же и *гидросфера* представляет среду, пропитанную газообразными и твердыми продуктами.

Первостепенное значение обмена газов в гидросфере.

Характер твердых, взмученных частиц в гидросфере – главным образом органических тел.

Морская грязь – ее среда и консистенция. Значение тонких механических мутей – коллоидов.

(развить)

Еще резче все эти явления выражены в *литосфере* коры выветривания.

Все породы коры выветривания, не говоря уже о таких рыхлых массах, какими являются почвы, проникнуты газами.

(развить)

Вместе с тем мы имеем здесь и чрезвычайное проникновение жидкостью, главным образом водою, обуславливающее все геохимические реакции, идущие в литосфере. Характер нахождения воды очень различен – влажность, проникновение воды в поры, вода, собирающаяся идвигающаяся среди земных пород.

(развить)

В не меньшей степени то же самое проникновение и смешение твердого, жидкого и газового вещества характеризует и другие земные оболочки. Именно в местах такого смешения идут главнейшие геохимические реакции.

Обзор таких явлений в метаморфической оболочке.

(развить)

[Явления смешения в магматической оболочке].

Очень сжато о магме. Оттенить, что в конце концов в магму собирается все то вещество, которое было в живом веществе и из нее исходят все элементы, позже входящие в состав этого живого вещества.

(развить)

¹Геохимические реакции² во многих чертах отличаются от хода тех реакций, которые изучаются в наших лабораториях.

Среди этих отличий необходимо обратить внимание на 1) размеры областей реакций, 2) время, в течение которого они идут, и темп реакции.

Эти отличия общие всем геохимическим реакциям и потому при классификации геохимических реакций эти стороны процесса могут не приниматься во внимание.

С точки зрения отличия от лабораторных реакций поражает наблюдателя размер наблюдаемого процесса, его размах.

³Достаточно, например, сравнить ту лабораторию, которую представляет извергающийся вулкан или дно океана, с силами и размерами наших лабораторий для того, чтобы ясно себе представить это различие.

¹ Зачеркнуто : «Все наблюдаемые»

² Далее зачеркнуто: «могут быть классифицированы в несколько различных групп, повторяющихся в разной форме в разных оболочках.»

³ Далее зачеркнуто: «Здесь останавливаться.»

Важно здесь не только различие в интенсивности геохимического процесса по сравнению с процессом лабораторий – важны и площадь, им занимаемая, количество вещества, им охваченного.

Площадь эта иногда огромна. Мы можем проследить единообразный химический процесс иногда на протяжении многих сотен и даже тысяч квадратных верст – например, процесс, связанный с выделением цеолитов или вадов на дне океана или те сложные химические процессы, которые связаны с метаморфизацией горных пород.

Можно отличить различные области геохимических реакций, которые после окончания процесса выражаются нами в виде минеральных тел – но во всех них мы увидим одно и то же: чрезвычайное развитие химического процесса по сравнению с ничтожными средствами наших лабораторий. Даже в тех случаях, когда процесс идет в очень ограниченной – с такой точки зрения – области, эта область чрезвычайно превышает все наши, привычные в лаборатории, представления. Так, например, те реакции, которые идут, например, в узких трещинах земной коры, где область, занятая выделяющимися минералами, охватывает нередко площадь во многие сотни и тысячи квадратных метров.

Необходимо отметить еще одну особенность геохимических процессов. Очень часто эти процессы с точки зрения размера носят перерывчатый характер – но область этих отдельных процессов занимает огромную площадь, т.е. имеет обычный геохимический характер.

Так, очень часто мы видим выделение конкреций, например конкреций барита, вада, фосфорита, кальцита и т.п. в грязи океанических бассейнов. Область, где идет этот процесс, охватывает нередко многие сотни и даже тысячи квадратных верст и в то же время процесс разбит на многие – даже сотни тысяч центров, около которых он идет. Центры эти разделены огромными пустыми промежутками. Мы должны, однако, для понимания процесса принимать во внимание не отдельный центр, а окружающую его часть вещества, нередко имеющий микроскопические размеры – но всю площадь, занятую такими процессами.

Очень часто такой характер имеют биохимические процессы, например, те химические явления, которые связаны с гниением организмов и зависят от отдельных трупов или отдельных отбросов организмов. В общем эти явления дают нам как раз ту же картину химической реакции, как указанная нами картина центров, приводящая к созданию слоя конкреций.

Еще больше, если возможно, отличие геохимических реакций от наших лабораторных по отношению и значению в них времени. Только в редких случаях процесс совершается быстро, так что заканчивается на памяти людей или длится днями – обычно он длится многими годами, десятилетиями, тысячелетиями.

Понятно поэтому, что в огромной большинстве случаев мы видим и изучаем только результаты процесса и должны его восстанавливать.

(развить)

Как долго длится самый процесс мы не знаем, но очень часто он должен исчисляться *геологическим временем*, т.е. длиться многими десятками тысяч лет. Таковы, например, процессы, связанные с образованием каменных углей или с изменениями гумусовых веществ в почвах.

Несомненно, в течение огромного количества лет, которое проходит во время хода этого процесса, есть шансы для многих случайностей и редко когда мы имеем один частный процесс: он прерывается новыми химическими побочными изменениями.

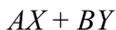
Однако, несомненно, что видно хотя бы из истории каменного угля или гумусовых веществ, есть и один процесс, длящийся все это время непрерывно, помимо всех побочных процессов, в него входящих.

Одной из наиболее характерных черт этого рода длительных процессов является то, что они проявляют такие химические реакции, которые не могут выявиться – при данным условиях – в наших лабораториях. Так, изменяющийся под влиянием кислорода, окислов азота и паров воды каменный уголь изменяется так медленно, что необходимы нередко десятки или сотни лет для того, чтобы эти изменения стали заметны.

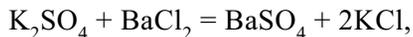
Эти изменения накапливаются годами и становятся заметными и яркими лишь через столетия.

Благодаря этому мы далеко не всегда можем руководствоваться опытом наших лабораторий для суждения о геохимических реакциях. Здесь мы встречаемся с такими результатами, которые кажутся невероятными по нашим лабораторным привычкам. Так, например, $BaSO_4$ нередко, несомненно, выделяется из водных растворов, вырастает путем двойного разложения в виде огромных кристаллов, тогда как в наших лабораториях мы можем этим последним путем получать лишь мельчайшие его неделимые, тогда как из водных растворов и вовсе его не получаем. Реакции в твердом виде, которые мы постоянно встречаем в геохимических процессах, совершенно отсутствуют в нашем лабораторном опыте, так как они принадлежат как раз к такого рода длительным химическим процессам, требующим больших промежутков времени для своего выявления.

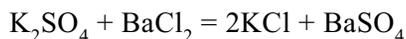
Еще один ряд процессов, который наблюдается в нашем лабораторном опыте, но должен иметь место в геохимических процессах. Это реакции, связанные с двойными разложениями и вообще с обментами. Какая-нибудь химическая реакция между двумя веществами



дает в конце концов четыре тела AX , BY , AY , BX , может быть даже AB – если мы оставим в стороне тройные соединения. Теоретически мыслимы и тела ABX , ABY , AXY , BXY и т.д. – согласно количеству возможных перестановок. В действительности мы знаем, что так называемые химические свойства тел кладут быстрый предел возможным реакциям. И из множества мыслимых немногие возможны, а еще меньше таких, которые наблюдаются. Так, например, в реакции



причем принимается, что $BaCl_2$ и K_2SO_4 на деле дают $BaSO_4$ и KCl . По-видимому, однако реакция не идет до конца и следы этих тел будут находиться, т.е. при соприкосновении $BaSO_4$ и KCl мы получим $BaCl_2$ и K_2SO_4 в очень небольшом количестве – но все же получим. В течение больших геологически длительных периодов времени эти следы должны получать значение, мы не можем ими пренебрегать, и реакция



превращается, взятая в геологическом времени, в реакцию



Исходя из этих соображений, можно классифицировать все геохимические реакции. Как признак такой¹ классификации мы можем взять разные их проявления.

Зная для каждого химического элемента устойчивые формы его нахождения для всех оболочек и круговые процессы первого и второго порядка – мы знаем всю его геохимическую историю.

То, что все главные геохимические процессы попадают в группу круговых процессов, указывает на то: 1) что в земной коре при нормальных условиях нет химических процессов, а достигается устойчивое равновесие – химическое безразличие и 2) что химические процессы идут лишь при применении внешней силы, сторонней энергии и прекращаются, как только эта энергия вся затрачена.

Без Солнца Земля будет не только безжизненная, но прекратятся и главные ее геохимические процессы.

Наиболее сложен случай *рассеяния*. [Аналог свободного состояния? Максимальное разделение элемента – максимальное накопление химической энергии? Понятие о рассеянии – микрокосмической смеси. Малая изученность этого явления. Можно ли его² выяснить с точки зрения энергетики? Мне кажется, потенциальная химическая энергия здесь будет максимальная, хотя для меня это не ясно и требует обдумывания и выяснения. Может быть, мы имеем здесь дело с совершенно иным явлением, аналогичным ионизации и т.п. разрежением материи, которые очень трудно поддаются нашим общим представлениям о химическом составе].

³(Микрокосмос, см. 1)

[Может быть, мы имеем здесь для каждого химического элемента то состояние, какое свойственно для химических элементов, неспособных при земных условиях к химическим соединениям, к благородным газам, например? Не будут ли и эти элементы находиться в макрокосмической смеси в состоянии, неспособном к соединению благодаря своей разреженности?].

С точки зрения динамики процесса можно все их распределить на группы:

1. Геохимические процессы равновесия обратимого.
2. » » » необратимого.

С точки зрения времени для тех и других мы имеем два типа:

1. Газовые реакции
2. Водные растворы и их взаимодействие
3. Реакции окисления
4. Реакции восстановления

(развить)

¹ Далее зачеркнуто: «их реакций»

² Далее зачеркнуто: «изучать»

³ Далее зачеркнуто: «(развить)»

Наконец, нельзя не обратить внимание на то, что все указывает нам на общую связь всех геохимических процессов между собою. Мы имеем на Земле один и только один химический процесс, который мы только разделяем на отдельные независимые части. Это процесс один не только с точки зрения источника энергии или участвующего вещества, но и времени.

Конечно, нам трудно охватить и трудно понять этот единый процесс, но мы должны всегда помнить о его существовании, о том, что химически на земном шаре все связано и во времени, и в пространстве, и в веществе. Вот здесь верна мысль Лапласа

(развить и обдумать).

О РАЗЛИЧИИ ЖИВОЙ И МЕРТВОЙ МАТЕРИИ*

Каковы бы ни были наши воззрения на жизненные процессы – придерживаемся ли мы виталистических или чисто механистических воззрений – безразлично, мы всегда можем отличить *организм*, живое существо от произведений мертвой природы. Я не знаю ни одного случая, который серьезно бы возбуждал сомнение натуралиста. Немногие случаи сомнений, связанные с сходством внешней формы некоторых низших организмов – бактерий и некоторых оригинальных форм кристаллизации – разрешаются в действительности ясно и непреложно относительно нетрудным исследованием.

Несомненно, в то же время, что искусственно полученные формы кристаллических тел, разнообразных образований, связанных с частичными силами жидкостей или твердых тел, лишь¹ напоминают нам *некоторые отдельные* черты организмов и во всяком случае *не могут быть с ними серьезно смешены*.

Граница между живым и мертвым реально ясна. Может быть, трудно дать² определение того, что мы называем организмом, но над точностью философского определения не может останавливаться натуралист, неизбежно работающий всецело в области, не подлежащей вполне философским определениям. Во всяком случае есть в природе немного явлений, где бы так мало было спорного, как в области различия живого и мертвого, живого организма и созданий мертвой материи.

Я не буду касаться вопроса о том, действительно ли это различие останется различием всегдашним, или можно будет найти переходные явления. Это вопрос веры и взглядов на характер ближайшего хода научного знания, не поддающийся точному научному изучению. Даже если мы допустим, что сознание является общим свойством материи, и тогда различие между живой и мертвой материей останется столь же ясным и не возбуждающим сомнения, как они являются теперь для точного наблюдения природы. Ибо допущение

* В.И. Вернадский: Жизнь и деятельность на Украине / К.М. Сытник, Е.М. Аланович, С.М. Стойко. 2-е изд., испр. и доп. – Киев: Наук, думка. 1988. с. 254–255.

¹ Далее зачеркнуто: «отдельным образом».

² Далее зачеркнуто: «всеобъемлющее».

общности сознания ни малейшим образом не перемещает границы между живым и мертвым. Я буду называть *живой материей* ту материю, которая входит в состав живых организмов¹.

Эта живая материя: 1) имеет совершенно определенный состав, может быть разложена на известные², определенные химические элементы и 2) она имеет определенный вес.

Сверх того, она находится в тесной и постоянной связи с окружающей ее земной корой, с мертвой материей, состоящей из разнообразных химических соединений, нередко отличных от тех, которые входят в состав живого вещества.

Состав живого вещества извлекается из окружающей его мертвой природы. Вес его составляет *часть* веса этой твердой коры. С точки зрения химических реакций земной коры, истории ее минералов, это живое вещество, как увидим, играет огромную роль, теснейшим образом связано со всей историей земной коры, со всеми минеральными процессами, в ней наблюдаемыми.

Оно может быть от него отделено только теоретически. Мы не можем понять химических процессов земной коры, если только выбросим из них участие живого вещества. Можно сказать даже, что живое вещество точно так же есть продукт процессов, какие происходят в земной коре, какими являются природные минералы. Для нас при этом совершенно безразлично, обусловлено ли различие между живым и мертвым.

1918–1919 гг.

¹ Далее зачеркнуто: «Нет никакой надобности такую... Если даже в этой материи нет ничего нового».

² Далее зачеркнуто: «кругом нас находящиеся».

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к seventhому тому	5
-------------------------------------	---

СТАТЬИ ПО ГЕОХИМИИ ПОЧВ

Титан в почвах (к вопросу об анализе почв) (1910 г.).....	7
К вопросу о химическом составе почв (1913 г.)	10
Об участии живого вещества в создании почв (1919 г.)	18
О геохимическом анализе почв (1921 г.).....	41
Об анализе почв с геохимической точки зрения (1936 г.).....	45
Биогеохимическая роль алюминия и кремния в почвах (1938 г.).....	54
О значении почвенной атмосферы и ее биогенной структуры (1944 г.)	57
Страница из истории почвоведения (памяти В.В. Докучаева) (1904 г.).....	64

СТАТЬИ ПО БИОГЕОХИМИИ

Записка об изучении живого вещества с геохимической точки зрения (1921 г.)	81
О задачах геохимического исследования Азовского моря и его бассейна (1921 г.)	84
Химический состав живого вещества в связи с химией земной коры (1922 г.)...	94
О никеле и кобальте в биосфере (1922 г.).....	111
Живое вещество в химии моря (1923 г.).....	114
О размножении организмов и его значении в строении биосферы (1926 г.)	139
Изотопы и живое вещество (1926 г.).....	168
Заметка об изучении живого вещества (1926 г.).....	171
О новых задачах в химии жизни (1927 г.).....	179
Геохимическая энергия жизни в биосфере (1927 г.)	194
Эволюция видов и живое вещество (1928 г.).....	203
О геохимических постоянных культурных растений (1929 г.)	217
О концентрации радия живыми организмами (1929 г.)	219
Общие соображения об изучении химического состава живых организмов (1930 г.).....	224
Изучение явлений жизни и новая физика (1931 г.)	246
О биогеохимическом изучении явлений жизни (1931 г.).....	273
О влиянии живых организмов на изотопические смеси химических элементов (1931 г.).....	275
Биогеохимический состав воды океана (1933 г.).....	281
Значение биогеохимии для познания биосферы (1934 г.).....	285

О коренном материально-энергетическом отличии живых и косных естественных тел биосферы (1939 г.)	322
Авторское предисловие к «Биогеохимическим очеркам» (1940 г.)	347
Литература к “Биогеохимическим очеркам”	351
К проблеме разложения каолина организмами	354
Представления о химическом составе живого вещества (1924 г.)	356
О биологическом значении некоторых геохимических проявлений жизни	358
Определение геохимической энергии величин (Δ , V , e) однолетних цветковых растений (1926 г.)	364
Определение геохимической энергии (величин Δ , V и e) некоторых групп насекомых (1926 г.)	369
Биогеохимические этюды (1926 г.)	375
I. О скорости передачи жизни в биосфере	375
II. О наибольшей скорости передачи жизни в биосфере	389
О проделанной Биогеохимической лабораторией работе по анализу живого вещества (1927 г.)	399
Бактериофаг и скорость передачи жизни в биосфере (1927 г.)	400
О поле устойчивости жидкой углекислоты в биосфере (1931 г.)	409
О химическом элементарном составе рясок (<i>Lemna</i>) как видовом признаке (1931 г.)	417
О некоторых основных проблемах биогеохимии (1938 г.)	421
Заметка о титане в биосфере (1937 г.)	435
О количественном учете химического атомного состава биосферы (1939 г.)	443
О геохимическом равновесии биосферы	470
О различии живой и мертвой материи	497

Научное издание

ВЕРНАДСКИЙ
Владимир Иванович

СОБРАНИЕ СОЧИНЕНИЙ
в двадцати четырех томах

Том седьмой

Труды по геохимии почв
и биогеохимии (после 1910 г.)

*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,*
Е.Л. Сысоева, Т.И. Шеповалова
Компьютерная верстка *Н.В. Мелковой*

Подписано к печати 26.06.2013
Формат 70 × 100^{1/16}. Гарнитура Таймс
Печать офсетная
Усл.печ.л. 41,1. Усл.кр.-отг. 41,1. Уч.-изд.л. 44,4
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 978-5-02-038111-7



9 785020 381117

