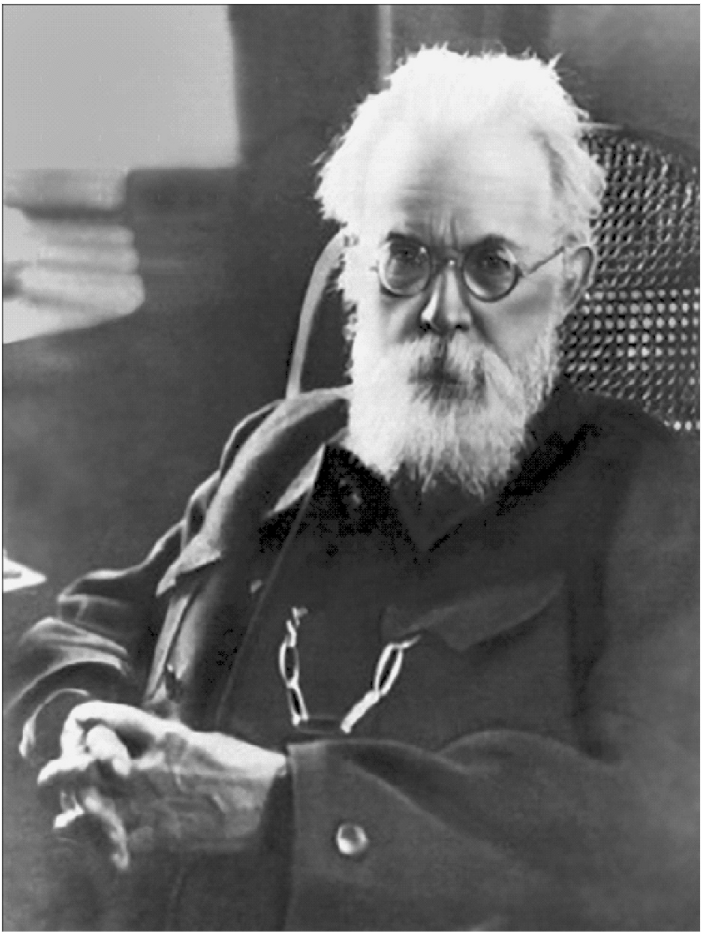
ВИБРАНІ НАУКОВІ ПРАЦІ АКАДЕМІКА В. І. ВЕРНАДСЬКОГО

ТОМ 4
ГЕОХІМІЯ ЖИВОЇ РЕЧОВИНИ

Книга 1



В. И. Вернадский

До 150-річчя від дня народження видатного вченого і мислителя, організатора науки, першого Президента Української академії наук, академіка
Володимира Івановича Вернадського
(1863–1945)

К 150-летию со дня рождения выдающегося ученого и мыслителя, организатора науки, первого Президента Украинской академии наук, академика
Владимира Ивановича Вернадского
(1863–1945)

Dedicated to the 150th anniversary of the outstanding scientist, philosopher, institutor of science, first President of the Ukrainian Academy of Sciences,
Academician Volodymyr Ivanovych Vernadsky
(1863–1945)



КОМІСІЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
З НАУКОВОЇ СПАДЩИНИ АКАДЕМІКА В.І. ВЕРНАДСЬКОГО

КОМИССИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНЫ
ПО НАУЧНОМУ НАСЛЕДИЮ АКАДЕМИКА В.И. ВЕРНАДСКОГО

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE COMMITTEE
FOR SCIENTIFIC HERITAGE OF ACADEMICIAN V.I. VERANDSKY

СЕРІЯ «ВИБРАНІ НАУКОВІ ПРАЦІ АКАДЕМІКА В.І. ВЕРНАДСЬКОГО»
Редакційна рада:
Б.Є. Патон, академік НАН України (*голова*); А.Г. Загородній, академік НАН України (*заступник голови*); М.В. Багров, академік НАН України; С.В. Волков, академік НАН України; В.В. Гончарук, академік НАН України; С.В. Комісаренко, академік НАН України; В.В. Моргун, академік НАН України; О.С. Онищенко, академік НАН України; М.В. Попович, академік НАН України; К.М. Ситник, академік НАН України; В.М. Шестопалов, академік НАН України; Я.С. Яцків, академік НАН України; І.Г. Ємельянов, член-кореспондент НАН України; О.М. Пономаренко, член-кореспондент НАН України; В.О. Ємельянов, доктор геолого-мінералогічних наук; М.В. Сидоренко, кандидат медичних наук; Ф.Н. Пацюк, кандидат хімічних наук; І.Г. Сидоренко, кандидат хімічних наук (*секретар*)

СЕРИЯ «ИЗБРАННЫЕ НАУЧНЫЕ ТРУДЫ АКАДЕМИКА В.И. ВЕРНАДСКОГО»
Редакционный совет:
Б.Е. Патон, академик НАН Украины (*председатель*); А.Г. Загородний (*заместитель председателя*); Н.В. Багров, академик НАН Украины; С.В. Волков, академик НАН Украины; В.В. Гончарук, академик НАН Украины; С.В. Комиссаренко, академик НАН Украины; В.В. Моргун, академик НАН Украины; А.С. Онищенко, академик НАН Украины; М.В. Попович, академик НАН Украины; К.М. Сытник, академик НАН Украины; В.М. Шестопалов, академик НАН Украины; Я.С. Яцкив, академик НАН Украины; И.Г. Емельянов, член-корреспондент НАН Украины; А.Н. Пономаренко, член-корреспондент НАН Украины; В.А. Емельянов, доктор геолого-минералогических наук; М.В. Сидоренко, кандидат медицинских наук; Ф.Н. Пацюк, кандидат химических наук; И.Г. Сидоренко, кандидат химических наук (*секретарь*)

SERIES «SELECTED SCIENTIFIC WORKS OF ACADEMICIAN V.I. VERNADSKY»
Editorial Board:
B.Ye. Paton, Academician of the NAS of Ukraine (*head*); A.H. Zahorodniy, Academician of the NAS of Ukraine (*deputy head*); M.V. Bahrov, Academician of the NAS of Ukraine,S.V. Volkov, academician of the NAS of Ukraine; V.V. Honcharuk, Academician of the NAS of Ukraine; S.V.Komisarenko, Academician of the NAS of Ukraine; V.V. Morhun, Academician of the NAS of Ukraine; O.S. Onyshchenko, Academician of the NAS of Ukraine; M.V. Popovych, Academician of the NAS of Ukraine; K.M. Sytnyk, Academician of the NAS of Ukraine, V.M. Shestopalov, Academician of the NAS of Ukraine; Ya.S. Yatskiv, Academician of the NAS of Ukraine; I.H. Yemelianov, Corresponding member of the NAS of Ukraine; O.M. Ponomarenko, Corresponding member of the NAS of Ukraine, V.O. Yemeliyanov, Doctor of geological and mineralogical sciences; M.V. Sydorenko, Candidate of medical sciences, F.N. Patsyuk, Candidate of chemical sciences, I.H. Sydorenko, Candidate of chemical sciences (*secretary*)

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

КОМІСІЯ З НАУКОВОЇ СПАДЩИНИ АКАДЕМІКА В.І. ВЕРНАДСЬКОГО

ІНСТИТУТ ЗООЛОГІЇ ІМ. І. І. ШМАЛЬГАУЗЕНА

ІНСТИТУТ ГЕОХІМІЇ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

ВИБРАНІ НАУКОВІ ПРАЦІ АКАДЕМІКА В.І. ВЕРНАДСЬКОГО

Т о м 4

ГЕОХІМІЯ ЖИВОЇ РЕЧОВИНИ

К н и г а 1

КИЇВ – 2012

УДК 550.4: 577.1 Вернадський. В. І.

ББК 26.30
26.30 – Геохімія

Володимир Іванович Вернадський. Геохімія живої речовини. [Текст]. Кн. 1 / НАН України, Коміс. НАН України з наук. спадщини акад. В.І. Вернадського, Ін-т зоології ім. Шмальгаузена НАН України, Ін-т геохімії навколишнього середовища НАН України; ред. кол.: І.А. Акімов (голова), Е.В. Соботович, М. А. Голубець [та ін]; уклад.: І. А. Акімов, В.О. Харченко, В. В. Долін [та ін.]. — К., 2012. — 504 с. — (Вибрані наук. пр. акад. В.І. Вернадського, т. 4).

Видання є четвертим томом ювілейної серії «Вибрані наукові праці академіка В.І. Вернадського», ініційованої Національною академією наук України та присвяченої 150-річчю від дня народження вченого. Четвертий том серії — «Геохімія живої речовини», в якому вперше об'єднані роботи В.І. Вернадського про біосферу та живу речовину, як предмет біогеохімічних досліджень, представлений в двох книгах.

У першій книзі четвертого тому публікуються ранні роботи В.І. Вернадського про біосферу та живу речовину, присвячені вивченню хімії життя та визначенню геохімічної енергії живих організмів. У цю книгу включена монографія «Біосфера».

У даній книзі вміщена вступна стаття академіка НАН України Е.В. Соботовича, члена-кореспондента НАН України І.А. Акімова, доктора геол. наук В.В. Доліна, присвячена становленню та розвитку концепції живого речовини і біогеохімічних ідей В.І. Вернадського, еволюції його поглядів на формування біосфери Землі, на матеріальні та енергетичні аспекти взаємозв'язку живих організмів з неживою матерією.

Редакційна колегія тому

І.А. Акімов, член-кореспондент НАН України (*голова*); Е.В. Соботович, академік НАН України; А. М. Голубець, академік НАН України; Д. М. Гродзинський, академік НАН України; В. М. Єгоров, академік НАН України; Ю. П. Зайцев, академік НАН України; Г. Г. Полікарпов, академік НАН України; В. Д. Романенко, академік НАН України; К. М. Ситник, академік НАН України; Я. П. Дідух, член-кореспондент НАН України; І. Г. Ємельянов, член-кореспондент НАН України; А. П. Травлєєв, член-кореспондент НАН України; Г. Є. Шульман, член кореспондент НАН України; І. В. Довгаль, доктор біологічних наук; В.В. Долін, доктор геологічних наук, С. В. Межжерін, доктор біологічних наук; О. О. Протасов, доктор біологічних наук; В. О. Харченко, доктор габілітований

Автори вступної статті до тому

Е.В. Соботович, І.А. Акімов, В.В. Долін

Автори-укладачі

І.А. Акімов, В. О. Харченко, В.В. Долін, Г. Г. Полікарпов, І. В. Довгаль, О. О. Протасов, В. М. Єгоров, С. В. Межжерін

© Автори-укладачі, 2012
© Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України, 2012
© Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», 2012

ISBN 978-966-02-6469-4 (Т. 4)
ISBN 978-966-02-6470-0 (кн. 1)

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ

КОМИССИЯ ПО НАУЧНОМУ НАСЛЕДИЮ АКАДЕМИКА В.И. ВЕРНАДСКОГО

ИНСТИТУТ ЗООЛОГИИ ИМ. И. И. ШМАЛЬГАУЗЕНА

ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ИЗБРАННЫЕ НАУЧНЫЕ ТРУДЫ АКАДЕМИКА В.И. ВЕРНАДСКОГО

Т о м 3

ГЕОХИМИЯ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА

К н и г а 1

КИЕВ – 2012

УДК 550.4: 577.1 Вернадський. В. І.

ББК 26.30
26.30 – Геохімія

Владимир Иванович Вернадский. Геохимия живого вещества, Т. 4: кн. 1 / НАН Украины, Комис. НАН Украины по науч. наследию акад. В.И. Вернадского, Ин-т зоологии им. Шмальгаузена НАН Украины, Ин-т геохимии окружающей среды НАН Украины; ред. кол.: И.А. Акимов (председатель), Э.В. Соботович, М. А. Голубец [и др.]; сост.: И. А. Акимов, В.А. Харченко, В. В. Долин [и др.]. — К., 2012. — 500 с. — (Избранные науч. тр. акад. В.И. Вернадского, т. 4).

Издание является третьим томом юбилейной серии «Избранные научные труды академика В.И. Вернадского», инициированной Национальной академией наук Украины и посвященной 150-летию со дня рождения ученого. Третий том серии — «Геохимия живого вещества», в котором впервые объединены работы В.И. Вернадского о биосфере и живом веществе, как предмете биогеохимических исследований, представлен в двух книгах.

В первой книге третьего тома публикуются ранние работы В.И. Вернадского о биосфере и живом веществе, посвященные изучению химии жизни и определению геохимической энергии живых организмов. В эту книгу включены монография «Биосфера».

В данной книге помещена вступительная статья академика НАН Украины Э.В. Соботовича, члена-корреспондента НАН Украины И.А. Акимова, доктора геол. наук В.В. Долина, посвященная становлению и развитию концепции живого вещества и биогеохимических идей В.И. Вернадского, эволюции его взглядов на формирование биосферы Земли, на материальные и энергетические аспекты взаимосвязи живых организмов с косной материей.

Редакционная коллегия тома

И.А. Акимов, член-кореспондент НАН Украины (*председатель*);
Э.В. Соботович, академик НАН Украины; А. М. Голубец, академик НАН Украины;
Д. М. Гродзинский, академик НАН Украины; В. Н. Егоров, академик НАН Украины;
Ю. П. Зайцев, академик НАН Украины; Г. Г. Поликарпов, академик НАН Украины;
В. Д. Романенко, академик НАН Украины; К. М. Сытник, академик НАН Украины;
Я. П. Дидух, академик НАН Украины; И.Г. Емельянов, член-кореспондент НАН Украины;
А. П. Травлеев, член-кореспондент НАН Украины; Г. Е. Шульман, член кореспондент НАН Украины;
И. В. Довгаль, доктор биологических наук; В.В. Долин, доктор геологических наук;
С. В. Межжерин, доктор биологических наук; А. А. Протасов, доктор биологических наук;
В. А. Харченко, доктор хабилитованый

Авторы вступительной статьи к тому

Э.В. Соботович, И.А. Акимов, В.В. Долин

Авторы-составители

И.А. Акимов, В. А. Харченко, В.В. Долин, Г. Г. Поликарпов, И. В. Довгаль,
А. А. Протасов, В. Н. Егоров, С. В. Межжерин

© Авторы-составители, 2012
© Институт зоологии им. И. И. Шмальгаузена НАН Украины, 2012
© Государственное учреждение «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», 2012

ISBN 978-966-02-6469-4 (Т. 4)
ISBN 978-966-02-6470-0 (кн. 1)

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE

COMMITTEE FOR SCIENTIFIC HERITAGE OF ACADEMICIAN V.I. VERANDSKY

I.I. SCHMALHAUZEN INSITUTE OF ZOOLOGY

INSITUTE OF ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY

SELECTED SCIENTIFIC WORKS OF ACADEMICIAN V.I. VERNADSKY

V o l u m e 3

GEOCHEMISTRY OF LIVING MATTER

B o o k 1

KYIV – 2012

ВВК 72.3(4УКР) Вернадський В.І.
В-35

UDK 001:929 Вернадський В.І. (477)

Volodymyr Ivanovych Vernadsky. Geochemistry of living matter. [Text]. Book. 1 / National Academy of Sciences of Ukraine, Commissions on heritage of academic V.I. Vernadsky, Schmalhausen Institute of Zoology NAS of Ukraine, Institute of Environmental Geochemistry NAS of Ukraine; editorial board: I.A. Akimov (Chairman), E.V. Sobotovych, M.A. Holubets [et al.]; compiled by I.A. Akimov, V.O. Kharchenko, V.V. Dolin [et al.]. — K., 2012. — 504 p. - (Selected scientific works of academic V.I. Vernadsky, V. 4).

This publication is the third volume of anniversary series "Selected scientific work of academician V.I. Vernadsky» initiated by the National Academy of Sciences of Ukraine and dedicated to the 150th anniversary of the scientist. The third volume of the series – "Geochemistry of Living Matter" presented in two books – is the first joint collection of the Vernadsky's works on biosphere and living matter as the subject of biogeochemical studies.

In the first book of the third volume, early Vernadsky's works on biosphere and living matter dealt deals devoted to with the study of chemistry of life and the definition of geochemical energy of living organisms are collected. This book includes monograph "Biosphere".

This book contains an introductory article of E.V. Sobotovych, academician of NAS of Ukraine, I.A. Akimov, corresponding member of NAS of Ukraine, and V.V. Dolin, doctor of geology on establishment and development of the living matter concept and biogeochemical ideas of V.I. Vernadsky, evolution of his views on formation of Earth's biosphere, material and energy aspects on relationship between living organisms and inanimate matter.

Editorial board for the volume

I. A. Akimov, Corresponding Member of the NAS of Ukraine (head); E. V. Sobotovich, Academician of the NAS of Ukraine; M. A. Holubets, Academician of the NAS of Ukraine; D. M. Grodzinsky, Academician of the NAS of Ukraine; V. N. Egorov, Academician of the NAS of Ukraine; Yu. P. Zaitsev, Academician of the NAS of Ukraine; G.G. Polikarpov, Academician of the NAS of Ukraine; V. D. Romanenko, Academician of the NAS of Ukraine; K. M. Sytnik, Academician of the NAS of Ukraine; Y.P. Didukh, Corresponding Member of the NAS of Ukraine; I. G. Emelianov, Corresponding Member of the NAS of Ukraine; A. P. Travleev, Corresponding Member of the NAS of Ukraine; G. Ye. Shulman, Corresponding Member of the NAS of Ukraine; I. V. Dovgal, Doctor of Biological Sciences; V.V. Dolin, Doctor of Geological Sciences; S. V. Mezhzherin, Doctor of Biological Sciences; A.A. Protasov, Doctor of Biological Sciences; V. A. Kharchenko, Doctor Habilitate

Authors of the foreword to the volume

E. V. Sobotovich, I. A. Akimov, V.V. Dolin

Authors-cocompilers

I. A. Akimov, V. A. Kharchenko, V.V. Dolin, G.G. Polikarpov, I. V. Dovgal, A.A. Protasov, V. N. Egorov, S. V. Mezhzherin

© Authors-compilers, 2012
© I.I. Schmalhauzen Insitute of Zoology NAS of Ukraine, 2012
© State Insitution «Insitute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine», 2012

ISBN 978-966-02-6469-4 (T. 4)
ISBN 978-966-02-6470-0 (кн. 1)

ЗМІСТ
(Содержание, Contents)

Передмова 13
На границе живого 23
О возможности существования особой жизненной энергии 26
Про організацію хімічного вивчення організмів відповідно до вимог геохімії 27
Записка об изучении живого вещества с геохимической точки зрения 29
Начало и вечность жизни 33
К проблеме разложения каолина организмами 59
Химический состав живого вещества в связи с химией земной коры 61
О никеле и кобальте в биосфере 79
Живое вещество в химии моря 83
Представления о химическом составе живого вещества 111
Автотрофность человечества 115
Ход жизни в биосфере 131
Живое вещество в биосфере 139
О давлении живого вещества в биосфере 193
Биогеохимические этюды 195
Биосфера 220
Изотопы и живое вещество 322
О размножении организмов и его значении в строении биосферы 326
Определение геохимической энергии величин (δ, v, e) однолетних цветковых растений 357
Определение геохимической энергии (величин δ, v и e) некоторых групп насекомых 362
О новых задачах в химии жизни 368
Бактериофаг и скорость передачи жизни в биосфере 384
О проделанной биогеохимической лабораторией работе по анализу живого вещества 393
Геохимическая энергия жизни в биосфере 395
Эволюция видов и живое вещество 406
О геохимических постоянных культурных растений 421
Изучение явлений жизни и новая физика 423
О биогеохимическом изучении явлений жизни 451
О влиянии живых организмов на изотопические смеси химических элементов 454
О поле устойчивости жидкой углекислоты в биосфере 461
О химическом элементарном составе рясок (Lemna) как видовом признаке 469
Биосфера и стратосфера 473
Заметка о титане в биосфере 476
О пределах биосферы 485

ПЕРЕДМОВА

Через призму наукової парадигми В.І. Вернадського найбільш яскраво сконцентровано пізнання ролі живих організмів в історії планети Земля, теоретичну основу якого складає вчення про живу речовину та біосферу. У різноманітті розмірів, морфології та фізіології живих організмів загальною умовою їх життєдіяльності є обмін речовин з середовищем існування. Незважаючи на незначну відносну масу у зовнішніх оболонках Землі, сумарний ефект геохімічної діяльності організмів з урахуванням фактора часу має важливе планетарне значення. Організми, поглинаючи хімічні елементи селективно, виходячи з фізіологічних потреб, викликають у навколишньому середовищі біогенну диференціацію хімічних елементів.

У вченні В. І. Вернадського про живу речовину тісно переплітаються природознавчі та філософські аспекти. «Все живе утворюється з живого у біосфері, комплекс фізико-хімічних явищ в якій точно обмежений та визначений»[1]. Творення живого лише з живого досі не отримало наукового пояснення та дає підстави для розширення поглядів на життя від земного до космічного явища.

Спираючись на праці Л. Пастера та П. Кюрі щодо дисиметрії живого В.І. Вернадський вважав, що жива речовина існує в особливому просторі, геометрія якого відрізняється від геометрії земних абіогенних тіл. Початковою стадією абіогенезу вчений вважає утворення Місяця, коли спірально-вихровий рух земної речовини створив умови для тимчасового виникнення дисиметрії на поверхні планети. Саме до цього короткочасного періоду (якщо, звісно, життя зародилося на Землі) відноситься утворення біосфери та живої речовини, яка повинна була виникнути у вигляді сукупності організмів — біоценозів[2].

Вплив організмів на навколишнє середовище безперервно здійснюється протягом геологічної історії — близько 4 млрд. років[3]. Постійно існуючу планетарну сукупність організмів В.І. Вернадський розглядав з позицій геохімії як особливу

---

[1] *Вернадский В.И.* Об условиях появления жизни на Земле // *Изв. АН СССР*. — 1931. — С. 633—653.

[2] Тут наведено сучасну оцінку. В.І. Вернадський вказував вік найдревнішого мінералу 2 млрд. років, посилаючись на роботи: *O. Hahn* // Naturwissench. — 1930. — V. 18, № 47/48/49. — P. 1013–1019; *J. Hevesy* // Science. — 1930. — V. 72, № 4. — P. 154.

[3] *Вернадский В.И.* Биосфера, очерки первый и второй. — Л.: Научно-техн. изд-во, 1926. — 146 с.

форму матерії — живу речовину, головною властивістю якої є постійний і безперервний масообмін хімічних елементів з навколишнім середовищем. З цієї причини діяльність живої речовини виступає провідним чинником геохімічної еволюції зовнішньої частини планети. Ці міркування покладено в основу нового наукового напряму — біогеохімії, який, вивчаючи історію формування хімічного складу літосфери під впливом живої речовини, нерозривно пов'язує живу та неживу речовину нашої планети, що завжди розділені «різкою неперехідною межею»[1].

Саме цей природничо-філософський аспект вчення В.І. Вернадського про живу речовину і біосферу спонукав редакційну колегію до об'єднання вибраних праць вченого щодо утворення, еволюції та взаємодії живої речовини з неживою матерією Землі у єдиний том «Геохімія живої речовини», праці в якому розташовано у хронологічному порядку. В.І. Вернадський не роз'єднував поняття живої речовини і біогеохімії. Підготована до друку в 1929 р. збірка «Жива речовина» була видана через десять років під назвою «Біогеохімічні нариси». Автор писав: «Пройшло багато часу та маса втрати часу і зусиль доки я добився видання — переконавшись, що потрібно змінити назву. Ця збірка, сильно пощипана цензурою (неосвіченою анекдотично), …виходить під заголовком «Біогеохімічні нариси» лише зараз, у 1940 р. …Ця книга була надрукована і повинна була вийти в 1930 р. під заголовком «Жива речовина»[2].

В.І. Вернадський вважав, що будь-який організм є невід'ємною частиною земної кори, являє собою механізм, що її змінює, та може бути відділений від неї лише в нашій абстракції. Повне уявлення про нього можна отримати лише за сполученого вивчення його морфологічних та фізіологічних властивостей у поєднанні з геологічними, зокрема, геохімічними — його зміни внаслідок сукупності хімічних явищ у біосфері[3].

У роботі «Два синтези космосу» вчений застерігає дослідників від надмірного захоплення абстрагованим знанням, відірваним від діалектичного розуміння всієї природи як єдиного цілого. Потужний апарат математичних і фізичних абстракцій виявляється даремним, як тільки вчений забуває, що предметом вивчення є не та чи інша модель реальності, а об'єктивна реальність у всьому різноманітті взаємозв'язків речовини та енергії.

У наш час подрібнення наук на окремі наукові дисципліни науковий працівник не має можливості у своїх дослідженнях охопити величезне коло проблем, як це робили найвидатніші натуралісти минулого, що давало їм можливість у своїх працях сприймати природу, космос як єдине ціле. Таким був Гете — художник і натураліст водночас. «Це був мудрець, а не філософ, мудрець-природознавець»[4]. Таким же постає перед нами і В.І. Вернадський. У поставленні проблем він вихо-

[1] Цитується за: *Аксенов Г.* Закончилось ли научное одиночество В.И. Вернадского? // *Знание-сила* (Москва). — 26.12.2003. — № 012. — С.30–37

[2] *Вернадский В.И.* Два синтеза космоса // Живое вещество.— М.: Наука, 1978.— С. 12–20.

[3] *Вернадский В.И.* Гете как натуралист // *Бюл. Моск. Об-ва. Испыт. Природы*: Нов. сер., Отд. геол. — 1946. — Т. XXI (I). — С. 1–37.

[4] *Флоренский К.П.* В.И. Вернадский — натуралист, естествоиспытатель // *Бюл. Моск. Об-ва. Испыт. Природы*: Отд. геол. — 1963. — Т. XXXVIII (3). — С. 111–119.

дить не лише з єдності природи, але й із єдності колективної людської свідомості, розглядаючи її мультиаспектний розвиток в історичному розрізі. Він прагне знайти джерела зародження наукового пізнання і бачить, як одна й та сама реальність, наближаючись до наукової істини, може в свідомості поколінь набувати форми поетичної картини, релігійного міфу або натурфілософської абстракції, залежно від етапу розвитку суспільства[1].

Сучасна диференціація природничих наук призвела до втрати розуміння зв'язку поміж природними явищами, взаємозумовленості природних процесів[2]. Тому доречно висловити припущення про те, що одним зі способів вирішення парадоксу доповненості у пізнанні може стати створення в майбутньому принципу Великого доповнення, що уможливлюється узагальненням принципу Н. Бора стосовно проблеми космології (єдності та протилежності живої та неживої речовини). На цій основі В.П. Казначеєв формулює наступний постулат: «Будь-яке масштабне дослідження неживої матерії (на рівні мегасвіту, космологічних об'єктів) повинно бути доповнено результатами дослідження живої речовини (включаючи розумну речовину) такого ж масштабу. І навпаки: крупномасштабне дослідження живої речовини (включаючи розумну живу речовину) повинно доповнюватися новими знаннями щодо організації потоків неживої матерії аналогічного масштабу»[3].

Аналізуючи особливості біологічного пізнання, які склалися історично, В.І. Вернадський неодноразово підкреслював, що при вивченні земного життя біологія зосереджується на власне живому організмі, вичленяючи його з навколишнього середовища, з яким він нерозривно пов'язаний. «Вивчаючи живі організми, біологи в більшості своїх робіт лишають без уваги нерозривний зв'язок, найтіснішу функціональну залежність, яка існує між навколишнім середовищем і живим організмом. Ясно усвідомлюючи організованість організму, вони абсолютно не враховують організованість середовища, в якому живе організм, тобто біосфери»[4]. Цим критичним аналізом спрямованості біологічних досліджень фактично було закладено основи сучасної екології — науки про взаємодію організмів та їх угрупувань між собою і з навколишнім середовищем (термін запропоновано у 1866 р. Е. Геккелем), яка наразі об'єднує природо- та суспільствознавців у пізнанні еволюційного розвитку біосфери.

Контури біогеохімії обрисовувалися поступово на фоні загального розвитку природознавства. Основні ідеї цієї науки зорієнтовані на оцінювання явищ життя, діяльності живої речовини з наукових позицій, тобто «числом і мірою». Разом з тим вони невільно торкалися сфери споконвічних інтересів релігії, філософії, та, відповідно, ідеології. Ця обставина в усі часи вимагала непересічних якостей від особи дослідника.

---

[1] *Сидоренко А . В.* Задачи исследований природных ресурсов Земли космическими методами // *Исследования Земли из Космоса*.— 1980.— № 1.— С. 20—35.

[2] *Казначеев В. П.* Учение В. И. Вернадского о биосфере и ноосфере.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989.— 248 с.

[3] *Вернадский В. И.* Биогеохимические очерки.— М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1940.— 241 с.

[4] *Вернадский В.И.* Два синтеза космоса // Живое вещество.— М.: Наука, 1978.— С. 12–20.

Розвиткові ідей біогеохімії сприяли роботи багатьох вчених. Найбільш помітний слід в історії цих ідей залишили неординарні фігури видатних вчених, які водночас були яскравими особистостями. Наприкінці XVIII ст. завдяки відкриттю кисню, азоту, двоокису вуглецю (вуглекислого газу) та розшифруванню хімічного складу повітря у наукових колах Парижу і Лондону активно обговорювалося значення газів у житті рослин. До цього періоду відносяться роботи А. Лавуазьє щодо кількісного оцінювання хімічних елементів, які беруть участь у реакції, та явища еквівалентного обміну кисню і вуглекислого газу у рослинах. Цими роботами було закладено основу сучасних уявлень щодо геохімії вуглецю в біосфері. Переконавшись, що головний хімічний елемент органічної речовини — вуглець — рослини отримують з атмосфери, а при розкладенні рослинних залишків — він повертається у вигляді вуглекислого газу, А. Лавуазьє дійшов висновку щодо універсальності колообігу при взаємодії живих організмів з природою. У його трактаті «Колообіг елементів на поверхні Земної кулі» обґрунтовано ідею щодо циклічного обміну хімічних елементів між трьома царствами природи: мінеральним, рослинним та тваринним та поставлено питання, на яке 200 років по тому біогеохімія прагне дати відповідь: «Якими шляхами здійснює природа цей дивовижний колообіг речовин між трьома своїми царствами?»

На початку XIX ст. Де Соссюр досяг сучасного розуміння щодо живлення рослин. У зв'язку зі з'ясуванням живлення рослин зразу ж перед людством постала в усій силі різниця між тваринами і рослинами і той колообіг речовин, який викликано на нашій планеті їхнім спільним існуванням. Ця думка, певне, виникла незалежно у багатьох природознавців. У 1779 р. президент Лондонського королівського товариства шотландський лікар Прингл яскраво намалював ту своєрідну картину рівноваги, яка існує між тваринами та зеленими рослинами, але яка являє собою тільки побічний круговий процес, що відбувається лише за рахунок частини кисню — «життєвого газу», як називав його Лавуазьє, що виділяється зеленими рослинами[1].

Ця проблема залишалася в центрі уваги протягом XIX ст. У 1841 р. два видатних французьких вчених Ж.-Б. Дюма і Ж.-Б. Буссенго сформулювали ідею циклічного колообігу газів між живими організмами і атмосферою у дещо парадоксальній формі: «… ми бачимо, що первинна атмосфера Землі розділилася на три великих частини: одна з них утворює сучасне атмосферне повітря, інша — представлена рослинами, третя — тваринами… Таким чином, все, що повітря дає рослинам, рослини надають тваринам, тварини ж повертають повітрю; вічне коло, в якому життя тріпотить та виявляється, але де матерія лише змінює своє місце».

Обмін речовин між живими організмами та навколишнім середовищем не обмежується колообігом газів. Наступний крок у пізнанні біогеохімічних циклів на суші пов'язано з дослідженнями видатного німецького хіміка Ю. Лібіха, який визначив два головних шляхи надходження хімічних елементів у рослини — через газовий обмін та з водних розчинів. По суті він вперше застосував метод сполученого аналізу, який наразі широко застосовується у геохімії ландшафтів,

[1] *Вернадский* и современность / Под ред. Б.С. Соколова и А.Л. Яншина. — М.: Наука, 1986. — 232 с.

що виявилося у послідовному визначенні складу ґрунтів та вмісту мінеральних речовин у різних органах рослин і тварин, а також продуктах їх життєдіяльності. Ю. Лібіх довів експериментально вибірковість поглинання хімічних елементів рослинами, чим було закладено основу теорії мінерального живлення рослин, та започаткував вивчення циклічної міграції елементів у системі «грунт–рослина–грунт», яка в подальшому отримала назву біологічного колообігу. Визначивши шляхи експериментального вивчення біогеохімічних циклів хімічних елементів, він перевів проблему взаємодії живих організмів з мінеральним середовищем з галузі філософських побудов до площини конкретних наукових досліджень і практичної діяльності. У його книзі «Хімія у доповненні до рільництва та фізіології рослин» (Німеччина, 1840) вперше здійснено спробу розглянути долю народів та країн у зв'язку з порушенням природного масообміну окремих хімічних елементів.

У 80-х роках XIX ст. в Росії виникло генетичне ґрунтознавство. Його засновник — яскравий оригінальний вчений, професор Петербурзького університету В.В. Докучаєв — розглядав генезис ґрунту як результат взаємодії низки ґрунтотвірних чинників: ґрунтотвірної гірничої породи, рослин і тварин, кліматичних умов, форм рельєфу, ґрунтових вод. Учення В.В. Докучаєва поглибило та конкретизувало уявлення попередників щодо діяльності живих організмів на прикладі найбільш поширеного природного утворення — ґрунтового покриву суші. Водночас вперше було показано нерозривну єдність живих організмів з іншими компонентами природної системи та неможливість існування цієї системи поза явищем життя.

Низка спостережень і досягнень, які вказували на величезне значення організмів у земній корі, зокрема, в хімічних її процесах потребувала систематичного зведення і наукового оброблення з позицій загального проявлення властивостей усього живого. Численні, проте розрізнені факти і гіпотези потребували узагальнення на новій методологічній основі, яку надала геохімія. Згідно принципів цієї науки, будь-який об'єкт можна охарактеризувати співвідношенням атомів хімічних елементів, які його утворюють. Геохімічний підхід дозволяє зіставляти і порівнювати різноманітні тіла і процеси. Зокрема, визначивши середній сумарний хімічний склад живих організмів Землі і порівнявши його з середнім складом земної кори, можна оцінити спрямованість геохімічної діяльності живої речовини у часі. Геохімічний підхід дає можливість об'єктивно, на строго науковій основі оцінити планетарний ефект діяльності живої речовини або окремих груп живих організмів. На формування геохімічного світогляду В.І. Вернадського визначальний вплив справили роботи Ф.У. Кларка (США) та В.М. Гольдшмідта (Норвегія). Очолюючи кафедру мінералогії Московського університету В.І. Вернадський читав курс генетичної мінералогії, у якому особливу увагу приділяв історії утворення мінералів. Вивчення природних процесів на атомарному рівні було покладено вченим в основу фундаментальних положень геохімії щодо міграції хімічних елементів у земній корі, форм їх знаходження і явища їх розсіювання, які зіграли визначальну роль у формуванні біогеохімії.

Концепція живої речовини створювалася на рубежі XIX–XX ст. Певне, думки щодо спрямованого впливу живих організмів на неживу природу виникли під впливом лекцій В.В. Докучаєва у Петербурзькому університеті, природниче відділення фізико-математичного факультету якого В.І. Вернадський закінчив у 1885 р. Ідеї В.В. Докучаєва про загальний взаємозв'язок компонентів природи і живі організми, як невід'ємну складову частину ґрунту та водночас найважливіший чинник його утворення, виявилися відправною науково-філософською основою, на якій сформувалися розроблені В.І. Вернадським генетична мінералогія і геохімія, а в подальшому — біогеохімія і вчення про біосферу[1].

В.І. Вернадський зазначав, що біогеохімічні проблеми почали його цікавити з 1891 р., коли він приступив до роботи зі створення курсу генетичної мінералогії у Московському університеті. У 1916 р. В.І. Вернадський починає багаторічну працю над створенням «науки про життя». Передусім необхідно було розробити підхід до об'єктивного оцінювання живої речовини та ефекту її діяльності. Шляхи вирішення цього завдання В.І. Вернадський намітив у 1918-1919 рр., коли під його керівництвом здійснювалися перші біогеохімічні дослідження в Україні, де він очолював новостворену Академію наук. На початку 20-х рр. він викладає свої ідеї у доповідях в Петрограді, Празі, а затим у курсі лекцій, прочитаних в Сорбонні. «Щоб вірно оцінити значення живої речовини, ми повинні знати для цього, по-перше, середній елементарний хімічний склад усіх організмів живої речовини та, по-друге, виразити його кількісно, знати вагу живої речовини. Цей склад і вагу ми повинні пов'язати за складом і вагою середовища, в якому земна речовина знаходиться»[2].

У результаті титанічних зусиль В.І. Вернадського у 1928 р. було створено Біогеохімічну лабораторію АН СРСР, яку він очолював до кінця своїх днів. На жаль, з причин невеликої чисельності співробітників лабораторії та недостатності коштів експериментальні дослідження обмежувалися визначенням вмісту хімічних елементів у різних організмах. Велика і дуже трудомістка робота з визначення мас живих організмів залишилася нездійсненою. Ці роботи було широко розгорнуто після смерті В.І. Вернадського у другій половині XX ст. екологами, ґрунтознавцями, океанологами. Отримані ними дані щодо динаміки живої речовини повністю підтвердили думки В.І. Вернадського щодо біогеохімічних циклів міграції хімічних елементів як основи існування біосфери.

З ініціативи В.І. Вернадського в середині 30-х років було розпочато розроблення біогеохімічного метода пошуку родовищ корисних копалин, який втілено його учнями й послідовниками[3],[4]. Наразі цей метод успішно застосовується для

---

[1] *Вернадский В.И.* Записка об изучении живого вещества с геохимической точки зрения // *Изв. Рос. Акад. наук*: Сер. 6. — 1921. — Т. 15, N 1/18. — С. 120-123.

[2] *Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. — М.: АН СССР. — 234 с.

[3] *Ковалевский А.Л.* Биогеохимические поиски рудных месторождений: Изд. 2-е. — М.: Недра, 1984. — 172 с.

[4] *Письма* Н.Е. Вернадской: 1886-1889 // Архив АН СССР / Сост. Н.В. Филиппова; Отв. ред. Б.В. Левшин. — М.: Наука, 1988. — 304 с.

пошуків родовищ берилію, бору, ванадію, золота, кобальту, нікелю, літію, міді, молібдену, урану, радію, свинцю, селену, цинку, цирконію та інших елементів.

Ще в кінці XIX ст. увагу В.І. Вернадського притягала зростаюча технічна могутність людства, масштаби діяльності якого ставали порівнянним зі впливом найбільш потужних геологічних процесів. Ця діяльність у фізико-географічному і хімічному відношенні незворотно змінює весь лик Землі, всю її природу[1].

Подібні думки народжувалися під впливом сучасників і попередників В.І. Вернадського. У 1933 р. американський геолог Чарлз Шухерт запропонував розглядати сучасну епоху як початок нової психозойської ери історії Землі, підкреслюючи цією назвою значення психічної діяльності людства як геологічного чинника[2]. Російський вчений А.П. Павлов, який запросив В.І. Вернадського викладати мінералогію в Московському університеті, також вважав, що з появою на Землі людини почався новий геологічний період, який він запропонував назвати антропогенним[3].

Уже в курсах «Мінералогії», які видавалися протягом роботи в Московському університеті В.І. Вернадський відзначав мінерали та хімічні сполуки, які утворилися внаслідок індустріальної діяльності та дівав перші оцінки сумарного обсягу і ваги таких «техногенних» мінералів. У праці «Досвід описової мінералогії» (1912-1922), що охоплює всі самородні, включаючи газоподібні, елементи та їх сірчисті і селенисті сполуки, вчений повсюди включає розділи «Діяльність людини», «Праця людини» тощо[4]. Звертаючись до впливу людської діяльності на гідросферу вчений писав «Уся природа плейстоцену, вся біосфера змінюється діяльністю цивілізованого людства. «Незаймані» річки швидко щезають або зникли і замінилися утвореннями нового типу, новими водами, раніше не існувавшими… На всій біосфері змінюються і зникають старі види поверхневих, пластових вод, вод грунтів і джерел, створюються нові культурні води»[5].

Паралельно з вивченням впливу людської діяльності на зміну природи Землі у 1914-1916 рр. В.І. Вернадський починає розробляти вчення про біосферу — унікальну оболонку планети, в якій зосереджено життя. У цей термін, застосований Ж.-Б. Ламарком у 1804 р., у подальшому розвинутий Е. Зюссом та Й. Вальтером, В.І. Вернадський вклав новий, більш глибокий сенс. Ця єдина область поширення живої речовини планети, що протягом близько 4 млрд. років[6] перетворювала лик Землі, корінним чином визначала динаміку літосферних, гідросферних та атмосферних процесів і подій. За цей період часу, живлячись енергією космічних випромінювань, біосфера сформувала складні саморегулюючі механізми, які за-

---

[1] *Schuchert C., Dunbar C.* A text book of Geology. — N.-Y., 1933. — P. 80.

[2] *Павлов А.П.* Ледниковые и межледниковые эпохи Европы в связи с историей ископаемого человека // Академическая речь. — 1922. — № 2.

[3] *В.И. Вернадский*. Избранные сочинения / Под ред. А.П. Виноградова. — М.: Изд-во АН СССР. — Т. II, 1955. — 615 с. — Т. III, 1959. — 507 с.

[4] *В.И. Вернадский*. История минералов земной коры. Том второй: история природных вод // Избранные сочинения / Под ред. А.П. Виноградова. — М.: Изд-во АН СССР. — Т. IV, кн. 2. — 651 с.

[5] Див. виноску 5.

[6] *Вернадский В.И.* Эволюция видов и живое вещество // Природа. — 1928. — № 3. — С. 227–250.

безпечили їй внутрішній саморозвиток і засоби захисту від руйнівних чинників космічного середовища. Він охарактеризував моноліт живої речовини і біосферу планети як явища вічні в геологічному часі, які водночас еволюціонують в силу удосконалення організованості, перерозподілу значення форм, видів, окремих організмів живої речовини у бік збільшення значення тих, які своєю життєдіяльністю максимізують біогеохімічну енергію в біосфері. «Еволюція видів, яка веде до створення форм життя, стійких у біосфері, повинна іти у напрямку збільшення проявів біогенної міграції атомів у біосфері»[1].

В.І. Вернадський вирахував сумарну кількість живої речовини в біосфері Землі, з'ясував величину енергії, що міститься в ній, пильно дослідив процес поглинання сонячної енергії за допомогою хлорофілу зеленими рослинами суші і водоростями Світового океану, відстежив шляхи її перетворення та впливу багатьох «вадозних» мінералів, властивих виключно біосфері, з'ясував характер надходження сонячної енергії в глибини Землі при захороненні створеної нею органічної матерії та дав аналіз усіх перетворень, які відбуваються в живій, біокосній та неживій речовині цієї найважливішої для людини оболонки Землі.

Результати досліджень В.І. Вернадський виклав у численних статтях, у книзі «Біосфера», вперше опублікованій у 1926 р. та у фундаментальній праці «Хімічний склад біосфери Землі», опублікованій після його смерті.

Аналізуючи еволюційні процеси у розрізі «біогеохімічних проявів життя» вчений сформулював фундаментальні біогеохімічні принципи та визначив чинники біогенної міграції хімічних елементів, серед яких «найбільш потужною формою біогенної міграції» є «зміни в положенні атомів унаслідок вкинутих організмами в біосферу нових речовин»[2], чим було закладено основи теорії біогенезу та техногенезу, розвинутої в подальшому у працях А.Є. Ферсмана[3].

В останнє десятиліття свого життя В.І. Вернадський доходить висновку щодо неминучої еволюції біосфери Землі, зумовленої розумовою діяльністю людини, розвитком наукової думки, — у ноосферу. Цей термін, вперше застосований Е. Леруа у статті, написаній в 1927 р. під враженням лекцій В.І. Вернадського в Коледж де Франс (1922–1926), нині став символом майбутнього нашої цивілізації.

Природничо-філософські аспекти еволюції біосфери та формування ноосфери В.І. Вернадський виклав у роботі «Наукова думка як планетарне явище», написаній у 1937–1938 рр. «Завдяки еволюції видів, яка безперервно відбувається та ніколи не припиняється, змінюється різко відображення живої речовини у навколишнє середовище. Завдяки цьому процес еволюції — зміни — переноситься у природні біокосні та біогенні тіла, які відіграють основну роль у біосфері, — в грунти, в наземні і підземні води (в моря, озера, річки і т.д.), у

---

[1] *Вернадский В.И.* Эволюция видов и живое вещество // Природа. — 1928. — № 3. — С. 227–250.

[2] *Ферсман А.Е.* Избранные труды. — М.: Изд-во АН СССР, 1958. — Т. IV. — 587 с.

[3] *Вернадский В.И.* Научная мысль как планетарное явление // Отв. ред. А.Л. Яншин. — М.: Наука, 1991.

вугілля, бітуми, вапняки, органогенні руди і т.п. Грунти і річки девону, наприклад, інші, ніж грунти третинного часу і нашої епохи. Це область нових явищ, яка заледве враховується науковою думкою. Еволюція видів переходить в еволюцію біосфери.

Еволюційний процес при цьому набуває особливого геологічного значення завдяки тому, що він створив нову геологічну силу — наукову думку соціального людства.

Ми якраз переживаємо її яскраве входження в геологічну історію планети. В останні тисячоліття спостерігається інтенсивне зростання впливу однієї видової живої речовини — цивілізованого людства — на зміни біосфери. Під впливом наукової думки та людської праці біосфера переходить до нового стану — ноосфери.»[1]

Перебудова біосфери науковою думкою через організовану людську працю є сучасним результатом стихійного природного еволюційного процесу, що триває понад два мільярди років, а власне людина — неминучий закономірний прояв цього процесу. Водночас вчений застерігає щодо активізації глобальних геологічних процесів унаслідок перетворення довкілля: «…ми повинні відзначити та враховувати, що процес еволюції біосфери, перехід її в ноосферу, явно виявляє пришвидшення темпу геологічних процесів. Тих змін, які виявляються зараз у біосфері протягом небагатьох тисяч років у зв'язку зі зростанням наукової думки та соціальної діяльності людства, не було в історії біосфери раніше»[2]. Ці застереження як ніколи актуальні сьогодні, у час, коли науковою думкою створено зброю, якою практично можна знищити довкілля, технології, що ведуть до глобальних катастроф, коли ми тонемо у відходах, якими отруюємо власні продукти споживання, коли набувши «головної геологічної сили» людство неповною мірою усвідомлює наслідки її застосування.

Проте В.І. Вернадський був щиро переконаний, що наукове знання — геологічна сила, що створює ноосферу, — не може призвести до результатів, які суперечать геологічному процесу, що її створив, що теорії краху цивілізації, самознищення людства — це лише наслідок «недостатньо глибокого проникнення у довкілля». Він напевно сподівався, що врешті-решт у нас вистачить свідомості й розуму не зруйнувати дім, в якому ми живемо. І дуже хотілося б, щоб ці переконання стали меморандумом для майбутніх поколінь науковців.

В.І. Вернадський — одна з найвидатніших особистостей в історії науки XX ст. Його різностороння діяльність залишила глибокий слід в історії світової науки. Він є засновником кількох крупних наукових напрямів у сучасному природознавстві. Вершина його наукової творчості — вчення про живу речовину, її планетарну і геохімічну роль та породжену нею унікальну оболонку Землі — біосферу. Його ідеї щодо еволюції біосфери під впливом розумової діяльності люди-

---

[1] *Вернадский В.И.* Научная мысль как планетарное явление // Отв. ред. А.Л. Яншин. — М.: Наука, 1991.

[2] *Вернадский В.И.* Научная мысль как планетарное явление // Отв. ред. А.Л. Яншин. — М.: Наука, 1991.

ни наразі набувають все більшої актуальності та успішно розвиваються світовою науковою спільнотою.

Численні видання вибраних творів В.І. Вернадського різними мовами дуже швидко ставали бестселером. Редакційна колегія сподівається, що це видання, присвячене 150-річчю з дня народження, хоча б частково задовольнить потреби читачів у вивченні творів неперсічного природознавця-філософа, геній якого об'єднав науки про Землю, Життя, Суспільство і Космос. Творча спадщина В.І. Вернадського на довгі роки лишиться тим кришталево чистим джерелом, з якого черпатимуть знання та розвиватимуть ідеї науковці нинішнього і майбутніх поколінь.

Е.В. Соботович, І.А. Акімов, В.В. Долін

НА ГРАНИЦЕ ЖИВОГО[1]

1

История научной мысли идет путями, далекими от ожиданий нашего логического мышления. Ход будущего ее развития так же мало может быть выведен из разума, как мало могут быть открыты новые явления окружающей нас природы.

Мы постоянно наблюдаем, что новые открытия, новые точки зрения в корне изменяют наши представления о важности и значении тех или иных стоящих на очереди научного мышления задач, целиком и резко перемещают характер научной работы, круг ее интересов и заданий. Сразу глохнет блеск старых исканий, в стороне загораются новые области мысли.

Сейчас мы переживаем такой перелом в области наук биологических. Наука одна, и резкое, коренное изменение одной ее части, переворот, происходящий теперь в области физико-химических знаний, не могут быть безразличными и для других областей ее ведения.

В науках о жизни коренной перелом происходит в области представлений о живом. Основным вопросом обобщающей мысли этой области еще недавно, казалось, — да и теперь многим кажется — был вопрос о витализме и механизме, о существовании или нет особых проявлений жизненности, резком отличии живого и мертвого. Как раз в этой области зарождаются новые идеи, выступают вперед новые факты, лишающие спор о витализме и механизме того общего значения, который еще волнует умы и сердца исследователей.

2

Что такое живое? Можно ли объяснить все процессы живого теми же физическими, химическими, механическими силами, какие достаточны для научного понимания остальной природы, или мы должны искать в этой области новые неведомые силы, обусловливающие особые проявления жизни?

Но есть ли резкое отличие живого и мертвого? Давно сделалась общим местом невозможность дать точное и ясное определение признаков живого. Мы все их находим в тех или иных явлениях мертвой природы.

От человека до мельчайшей анаэробной бактерии мы можем расположить ряд организмов, делающих для нас несомненным принадлежность всех их к одному и тому же циклу явлений, к области *живого*. Однако различие между человеком и бактерией так велико, что *общее им*, связующее их в единое целое и в то же время резко отличающее их от созданий мертвой природы, сводится к ничтожным, колеблющимся признакам, не охватывающим того, что для нас является признаком живого и жизни в других областях нашего мышления. Действительно ли мы охва-

---

[1] Опубликовано в: Рус. мысль. 1911. № 3. С. 41–43. Печатается по изданию: Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

тываем под научные признаки «живого» что-нибудь из того, что связано с проявлением человеческого сознания, или это «*живое*» представляет столь же чуждый, инертный субстрат сознания, каким является общий живому и мертвому *химический состав* организма? Не является ли научное представление о «живом» резко отличным от области сознания и не связана ли придаваемая нами этому вопросу ценность с логическим недоразумением? Не теряет ли в таком случае философское значение спор о витализме и механизме?

3

И действительно, в научной области начинает наблюдаться внедрение новых явлений, быстро перемещающих философские основы биологических представлений. Сглаживаются рамки между живым и мертвым, создается новая область знания — *синтетическая биология*.

Эта наука находится только в начале своего зарождения. Она имеет своей задачей воссоздание опытным путем — в мертвой материи — форм и структур живых организмов. Недавно вышла небольшая книжка Ледюка, доступно излагающая некоторые из вопросов синтетической биологии[1].

Как все работы Ледюка, профессора медицинской школы в Нанте, книжка эта обладает большими недостатками, является произведением оригинального ученого, не обладающего выдержанной школьной эрудицией. Однако она заслуживает серьезного внимания мыслящего общества, так как в яркой форме ставит перед ним научные задачи и ожидания огромного философского значения.

Название синтетической биологии, может быть, не вполне удачно. Оно тесно связано с попытками подойти к решению основного искания в области биологических наук — искусственного получения живого организма. Было время, когда эту задачу думали разрешать простыми химическими экспериментами. Долгое время углеродистые соединения организмов не могли быть искусственно получены непосредственно из своих элементов. Благодаря этому химия их была выделена в особую науку — *органическую химию*. Понемногу, однако, удалось получить синтетически огромное количество веществ, вырабатываемых организмами или являющихся продуктами их распадения; в то же время органическая химия создала тысячи соединений, ничего общего не имеющих с организмами, вышла далеко за пределы вопросов, с ними связанных. Малопомалу когда-то резкая грань между органической и неорганической химией сгладилась. После того как Велер в 1824 г. впервые получил мочевину, исходя из неорганических соединений, сделан огромный шаг для синтеза соединений, строящих организмы; в последние годы Фишер подошел к синтезу белков, получив полипептиды, обладающие свойствами пептонов.

И вместе с тем для нас стало ясным, что синтез белков не дает нам синтеза организмов. Можно получить химическим путем мертвый белок, но не белок живого вещества.

---

[1] Leduc S. Théorie physico-chimique de la vie et générations spontanées. Paris, 1910. (Poinat).

4

В организме помимо *состава* характерна *форма*. Жизнь организма протекает в связи с изменением не только его состава, но и его *формы*. Воссоздать искусственно эту форму, выяснить законы ее изменений на телах мертвой природы является задачей *синтетической биологии*.

Такими телами мертвой природы являются жидкие и полужидкие тела, их смеси.

Изучение формы этих тел стало возможно только благодаря развитию физической химии и учения о коллоидах, этих созданий конца XIX столетия. Для работников синтетической биологии вся наука о живом есть часть физической химии жидкостей.

Изучение формы жидких и полужидких тел давно обращало на себя внимание исследователей; в 1860-х годах Траубе изучил осадочные перепонки, уже тогда указав на сходство их с живыми клетками. Но только с начала XX в. эти явления стали изучаться систематически. В работах Бючли, Квинке, Ледюка, Герреры, Феликса, Румбера и других собрался огромный материал, который позволяет заложить основу новой науки о форме — о форме жидких и коллоидальных образований, сложных их систем, переходов их в твердые, кристаллические тела — иногда видных глазу, иногда микроскопических. Эти формы резко отличны от тех форм мертвой материи, которые изучаются в кристаллографии.

Этим путем были найдены и морфологически изучены системы мертвой материи, чрезвычайно приближающиеся к живым организмам. Среди них особенно любопытны и наиболее схожи с организмами осмотические нарастания. Их форма, их движение, их изменения иногда с поразительной точностью напоминают все то, что еще недавно считалось несомненным признаком живого организма. Очень многие явления, например пенистая структура плазмы, рост и деление клеток, скульптура их оболочек, явления кариокинезиса, движение клеток и т.д., могут быть вполне воспроизведены в мертвой материи вне живого организма, являются простым проявлением явлений осмоза и волосности.

Конечно, пока все еще далеко до воспроизведения живого организма. Но в мертвых созданиях синтетической биологии мы подходим, с другой стороны, к решению того же вопроса, какой ставит себе синтетическая химия, — воссоздания организма.

Удастся ли это или нет, трудно сказать. Можно сказать лишь одно — в объектах синтетической биологии мы имеем дело с формами мертвой материи, пока наиболее близкими к организмам. С другой стороны, здесь открывается область явлений, почти не затронутых раньше исследованием, которая для жидкого и полужидкого неоднородного вещества может привести к созданию новой научной дисциплины, схожей с той, какая для твердого однородного вещества воплотилась в кристаллографии. Мы подходим здесь к морфологии неоднородных систем.

Даже если надежды работников в этой области (в том числе и Ледюка) подойти этим путем к искусственному созданию организма и не оправдаются, все же в синтетической биологии будет создана научная дисциплина, которая позволит нам глубже подойти к вопросам о строении материи.

О ВОЗМОЖНОСТИ СУЩЕСТВОВАНИЯ ОСОБОЙ ЖИЗНЕННОЙ ЭНЕРГИИ[1]

Стремление получить искусственно вещество из мертвого явно не может опираться на сведение всех процессов в живом веществе к физике и химии. Решительно все равно, идет ли до конца это сведение или нет. Весь вопрос в характере той энергии, которая при этом принимается во внимание.

Отчего количество живого вещества недостаточно? Отчего, только малая часть солнечной энергии собирается организмами? Она переходит в разные формы энергии, утилизируемые организмами.

Неужели есть особая жизненная энергия, подчиняющая тем же законам, какие регулируют все другие?

[1] Работа написана в 1919 г. и в виде рукописи хранилась в Центральной научной библиотеке АН УССР. Впервые опубликована: Сытник К. М. и др. В.И. Вернадский. Жизнь и деятельность на Украине. — Киев: Наук. думка, 1988. — С. 257. — *Ред*.

ПРО ОРГАНІЗАЦІЮ ХІМІЧНОГО ВИВЧЕННЯ ОРГАНІЗМІВ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ ГЕОХІМІЇ[1]

Займаючись останній час студіюванням геохімічного значення організмів живої матерії, я впевнився в надзвичайній мізерності, неповності та випадковості нашого знання в обсягу хімічного складу ваги та енергії організмів.

В той час, як студіювання геохімічної історії хімічних елементів обов'язково приводять до висновку, що жива матерія відіграє величезну роль в цій історії і що, не взявши її до уваги, не можна зрозуміти геохімічної історії більшості, а може і всіх хімічних елементів – для остаточного затвердження цього висновку в області пізнання хімічного складу організмів необхідних даних нема.

При студіюванні геохімічного значення живої матерії нам неодмінно доводиться порівнювати його з іншими складовими частинами земної кори — гірничими породами, водою гідросфери, газами атмосфери. Порівнюючи елементарний хімічний склад живої матерії (с. т. всіх організмів тварин та рослин взятих укупі) з тим же складом гірничних порід, гідросфери або атмосфери, ми впевнюємося, що наше пізнання хімічного складу живої матерії відстало від пізнання інших зазначених вище природних тіл принаймні на століття. Ми не тільки не можемо дати дійсної уяви про хімічний елементарний числовий склад усієї живої матерії, як це ми можемо зробити для всієї твердої земної кори, для гідросфери та для атмосфери, ми не можемо навіть дати для нього певного якісного елементарного складу. Нема ні однієї великої групи тваринних або рослинних організмів, їх відродів (видів) або родів, для котрих ми мали б змогу дати уяву про хімічний числовий їхній склад, яка (уява) відповідала б по певності нашому знанню хімічного складу гірничих порід або морської води.

Загальна кількість хімічних елементів, так само як загальна кількість матерії, яку містить в собі вся жива матерія, і досі лишається загадковою і неясною, а тим часом це знання конче необхідно для цілого ряду найважніших висновків в обсягу геохімії.

Без прибільшення можна сказати, що без нових даних в цій царині пізнання геохімічної історії таких елементів, як кремній, алюміній, титан, мідь, цинк, свинець, срібло, група рідких земель, рубідій і т. ін. не може бути досягнуто.

Таке сумне становище нашого знання в цьому обсягу залежить од того, що обсяг хімічного складу та деяких інших цікавих для геохіміка властивостей (напр. ваги) організмів, лишалися поза увагою біологів, котрих цих питань не вважали важливими. Навіть біохіміки та фізіологи вивчали організми з цілком іншими вимогами, ніж ті, котрі стають перед нами, коли ми підходимо до них як до прояв геохімічних процесів. Біологи не звертали уваги як раз на ті боки питання, котрі цікавлять нас – на вагу організмів, певний їхній елементарний склад, числовий розклад в них різних сполучень, кількість та склад матерії, яка міститься в організмах, вплив організмів та їх продуктів розпаду на оточення.

---

[1] Оригінал російською мовою. Українською мовою дається з редакційними правками за публікацією: Протоколи засідань Фізико-математичного відділу Української Академії Наук у Києві. І. 1918 р. – Київ: Друк. Вид. Тов. Робітнича Книгарня, 1919. — С. 43–45. — *Ред.*

В той самий час, як з'єднання мертвої природи давно уважно вивчалось в мінералогії, з погляду утворюючих їх геологічних процесів, витвори живої матерії систематично ніколи не звертали на себе уваги з цього погляду. Тільки в останній час ці питання починають звертати на себе більшу увагу в зв'язку з розвитком геохімії.

Працюючи над цим і спостерігши такий стан нашого знання, я прошу допомоги Української Академії Наук для організації хімічного вивчення організмів, відповідного до вимог геохімії.

Я гадаю на перший раз обмежитись 1) вивченням різнорідних організмів з метою числового вияснення їхнього елементарного складу і 2) вирішенням деяких окремих питань, що відносяться до геохімічної історії елементів, при чім на перше місце гадав би поставити історію кремнію, деяких важких елементів (як мідь, цинк, свинець, срібло...) та таких елементів, участь котрих в біологічних процесах, з геохімічного погляду, мусить вважатися необхідною, але в літературі не вказано або майже не вказано (як наприклад титан, рубідій, елементи рідких земель, ванадій і т. ін.)

Разом мусимо вияснити деякі приватні питання: 1) відсоток вуглецю в організмах, 2) числовий вміст в них води, 3) їхня вага і т. ін. Для цієї мети необхідно дати мені можливість запросити кількох хіміків, щоб зробити аналізи та відповідні спроби (не менше 3-х осіб) та біологів для означення та здобування необхідного для досліду матеріалу. На оплату праці цих осіб необхідно мати суму в 30 000 карб. на рік.

Крім того, неодмінно мати суму для оплати випадкового матеріалу, або того, що спеціально замовляється окремим зоологам чи ботанікам, приблизно в розмірі 6 000 карб. на рік.

Праця мусить провадитися в якійсь лабораторії, але поволі треба набувати деякі прилади, матеріали та апарати, котрі мають поступити в будучий Мінералогічний Інститут Української Академії Наук.

На цій підставі щиро прошу відділ відпустити мені для праці, що сполучена з геохімією живої матерії, в 1918–1919 рок. 59 400 карб. з фонду на наукові підприємства Академії. Сума ця складається з таких окремих частин:

1) Платня за працю по веденню хімічних аналізів, спектроскопічних робіт і т. ін., рахуючи в середньому п'ять рокових робітників по 500 карб. в місяць . . . . . 30 000 карб.
2) На придбання необхідного матеріалу для аналізу . . . . . 6000 – « –
3) На придбання потрібних для праці приладів, хімичного посуду і т. ін. . . . . 10 000 – « –
4) На видатки, сполучені з облаштуванням та найманням помешкань (опалення і т. ін.) для лабораторій . . . . . 6000 – « –
5) На платню служителям . . . . . 2400 – « –
6) На подорожі та екскурсії для здобування матеріалу . . . . . 5000 – « –
Разом. . . . . 59 400 карб.

Праця почнеться негайно, постільки це можливо в тяжкий час, який переживаємо.

8/XII 18 року. Ак. В. Вернадський.

ЗАПИСКА ОБ ИЗУЧЕНИИ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА С ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ[1]

Как известно Академии Наук, последние года, 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 Университете св. Владимира, я поставил опыт над выяснением вопроса о разложении организмами глин — 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, напр., в областях фумарольных явлений. На ряду 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

---

[1] Приложение к протоколу VIII заседания Отделения Физико-Математических Наук Российской Академии Наук 11 мая 1921 года. Опубликовано в: Известия Российской академии наук. 1921. VI серия. Т. 15. С. 120–123.

может быть и селитряных — где получаются алюмосульфаты. Лет двадцать тому назад знаменитый исследователь моря Меррей обратил внимание на этот процесс распадения алюмосиликатов в связи с историей кремния в океанах и вместе с Ирвиным 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, при чем мне удалось выяснить образование в них разложением алюмосиликатов каолинового строения с выделением гидратов окиси алюминия и железа, и в почвах этих оказалось большое количество бактерии 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 поражало 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,—получаются 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 распадения глин в тропических почвах, связанный с выделением гидратов окиси алюминия, и образования латеритов есть процесс биохимический, но характер микроорганизмов не выяснен.

Все это заставило меня — особенно в виду значении AI 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, раненый во время войны офицер Наумович. Он начал добывать чистые культуры диатомовых. К сожалению, Наумович, 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 взяг по набору в войска и должен был оставить работу. Однако, уже ясно, что глина в контрольных сосудах, без культуры диатомовых (и бактерии) 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. При чем 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 разных видов животных и растений. Все эти организмы были превращены в золу обычным путем, что, как я теперь вижу и как выяснилось среди работы, является ошибкою. 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, по и количественные. Сейчас работа М. И. Бессмертной указывает на постоянное нахождение Ni, Cu, Mn в организмах, причем во всех изученных (четырех) видах мхов количество Ni и Co является количественно определимым. 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 указании 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 заключении. Эту работу я считаю также необходимым возобновить в правильном, насколько это сейчас возможно, масштабе.

Наконец, необходимо сейчас же поставить несколько прямых определений воды в организмах, так как до сих пор, сколько знаю, мы не имели ни одного определения этого рода. А между тем, количество легко удаляемой поды огромно и при всех геохимических расчетах должно быть принимаемо во внимание. При обычном высушивании, кроме *H* и *O*, уходят еще *N*, *S*, *P, C* 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 методикой работы мною летом и весной 1920 года было произведено исследование в химической лаборатории Салгирской Плодоводственной 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, напр. 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.

НАЧАЛО И ВЕЧНОСТЬ ЖИЗНИ[1]

I

Было ли когда-нибудь и где-нибудь начало жизни и живого, или жизнь и живое такие же вечные основы космоса, какими являются материя и энергия? Характерны ли жизнь и живое только для одной Земли, или это есть общее проявление космоса? Имела ли она начало на Земле, зародилась ли в ней? Или же в готовом виде проникла в нее извне с других небесных светил?

Каждый из нас знает, как много для всех нас важного, ценного и дорогого связано с правильным и точным ответом, разрешением этих вопросов, если бы мы смогли на них сейчас дать точные ответы. Ибо нет вопросов более важных для нас, чем вопросы о загадке жизни, той вечной загадке, которая тысячелетиями стоит перед человечеством и которую оно стремится разрешить всем напряжением личного и коллективного творчества. А всякое разрешение загадки жизни предварительно связано с ответом на эти более узкие, но, по существу, огромной глубины и важности вопросы, которые сегодня стоят перед нами. Был ли когда-нибудь космос без проявлений жизни, может ли быть безжизненный Космос? Мы знаем — и знаем научно, — что космос без материи и без энергии не может существовать. Но достаточно ли материи и энергии — без проявления жизни — для построения космоса, той Вселенной, которая доступна человеческому разуму, т.е. научно построяема? Есть ли живое и жизнь частное явление в истории материи и энергии, проявляющееся временами и столь же бесследно исчезающее?

Жизнь и живое мы должны брать во всем их реальном проявлении, во всех функциях, начиная от высших форм сознания и кончая тем вихрем химических элементов, входящих и выходящих через живой организм, в котором гений Кювье (G.de Cuvier, 1769–1832) сто лет тому назад отметил одну из самых характерных особенностей организма как космического неделимого.

Загадку жизни человек пытался разрешить различными путями. Он подходил к ней путем религиозного подъема, религиозного настроения и религиозного коллективного, веками длящегося творчества и личной религиозной интуиции. Он подходил к ней мистическим наитием и теологическим построением. И мы знаем, как много различных, сменяющихся, несовместимых и противоречивых решений этих вопросов создано на этом пути усилиями человеческого ума. Много их сохранилось в архиве былого человеческой культуры, и много сейчас, в данный момент, существует в человечестве разнообразных, живых решений поставленной задачи. Общего, единого решения религиозное сознание, однако, не дало. И нельзя свести бесчисленные разнообразные формы такого разрешения к единому ясному и неопровержимому положению.

---

[1] Лекция, прочитанная в мае 1921 г. в Доме литераторов в Петрограде. Впервые опубликовано: Пг.: Время, 1922. 58 с. В дальнейшем опубликовано в : Избр. соч. В 5т. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. С. 120–142. М.: Сов. Россия. 703 с. Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

Человек подходил к решению той же загадки и другим путем — путем художественного творчества. Он искал разрешения загадки жизни не только в поэзии и в логически выраженных образах своей фантазии или художественного воспроизведения основных черт сущего — космоса, он подошел к художественному разрешению и другим путем, который только толкованиями наших переживаний мы можем выразить логическими образами — в гармонии и подвижном мире звуков музыки, в цвете и форме зодчества, живописи, ваяния.

Всюду здесь так или иначе преломляется в человеческой личности, в ее единичном или коллективном творчестве загадка жизни, ибо художественное творчество выявляет нам космос, проходящий через сознание живого существа. И мы знаем, что и формы художественного творчества не дали нам единого, определенного решения загадки жизни. Нет единого решения — значит, нет решения. И общее в бесконечном разнообразии веками накопленных художественных созданий не может найти человеческий ум.

Также не дана разгадка жизни и в третьей форме духовного искания человечества — в той более молодой форме ее, которая сказывается в философском мышлении. И в ясных логических построениях разума, и в связанных с ними мистических переживаниях философского мышления напрасно в течение почти трех тысяч лет пытается человек найти разгадку жизни. Он и здесь дает множество ее решений, столь же разнообразных, несводимых в одно, непримиримых друг с другом, к каким приводит его религиозная интуиция и художественное творчество.

Оглядываясь назад, мы видим на протяжении всей доступной нам дали времен непрерывное течение человеческих стремлений разрешить загадку жизни, выяснить факт существования своего и всего живого в природе в понятных нашему сознанию формах. И эти искания до сих пор не прерываются и не ослабляются с ходом времени. Древний философ в сохранившемся нам отрывке 2370 лет назад выразил окружающее как «текущее», и это выражение Гераклита (ум. ок. 475 г. до н.э.) лучше всего передает общее впечатление, создаваемое наблюдением искания человечеством разгадки своего существования и существования всего живого. Мы видим здесь все в движении — бурном, непрерывном и неуловимом в своих законностях.

Только одной стороной своей духовной деятельности человек не подходил интенсивно к решению этой загадки — тем великим созданием своего творчества, каким является наука. А мы знаем, что только в коллективном творчестве свободных исканий свободной личности, каким создается наука, человек получает такое понимание сущего, которое является для всех обязательным, не возбуждающим спора и сомнений, не связанным с индивидуальными особенностями, темпераментами личности. Наука не дала на протяжении всей своей истории — более двух с половиной тысяч лет — никакого ответа на этот вечно стоящий перед нами вопрос.

Она не дала его не потому, что она не стремилась его дать. Напротив того, вдумываясь и вглядываясь в историю науки, мы видим, что стремление к раз-

решению этого вопроса проникает научную мысль с самого дальнего известного нам ее проявления. Но она не смогла найти путей для его разрешения. Когда человек науки, в других случаях шедший особым, своим путем, давал решение этой загадки, он неизбежно сходил на путь чуждого ему религиозного или философского творчества. Ответы давал ученый, а не наука. Наука же в этом вопросе была и до сих пор находится еще в стадии искания путей к разрешению этой вечной загадки. В то самое время, когда религия, философия, художественное творчество ищут решения загадки, наука еще ищет путей для этого решения.

Наука ищет пути всегда одним способом. Она разлагает сложную задачу на более простые, затем, оставляя в стороне сложные задачи, разрешает более простые и тогда только возвращается к оставленной сложной. Иногда проходят века, прежде чем она возвращается к первоначальной задаче. Но данная задача не теряется в течение этого времени. Каждый исследователь, решая частные вопросы, необходимые для ее разрешения, переживает, передумывает основную задачу. Она нередко десятилетиями и столетиями не проявляется в текущей литературе, но все же фактически лежит в основе научной работы, составляет святая святых того стремления и искания, которое заставляет человека нести тяжелый и нередко смертельный труд научного творчества. Решение загадки жизни как таковое не ставится сейчас в научной мысли и в научной литературе вот уже три-четыре столетия, но стремление к нему — в скрытой форме — неуклонно проникает всю работу биолога, сопровождает его работу всю его жизнь. Оно его и вдохновляет, и настраивает, возбуждает его научное искание...

Одним из частных вопросов общей загадки жизни и является для науки тот вопрос, на который я хочу обратить сегодня ваше внимание. Вечна ли жизнь в космосе, или она имела начало, в частности видим ли мы где-нибудь в истории нашей планеты, Земли, указания на зарождение в ней жизни, ее возникновение из других форм проявления в ней космоса. Таких форм мы научно принимаем пока две — материю и энергию. В философии, в религии, в художественном творчестве к ним прибавляется и третье начало — духовное начало в той или иной форме его проявления.

Я подойду к этому вопросу как ученый, а не как философ, художник или религиозный мыслитель.

И хотя вопрос о жизни в этой форме не имеет сейчас в науке определенного разрешения, мне кажется, наука подходит в своей вековой работе к такому разрешению. Изучая вековой подход науки к этому разрешению и состояние его в науке в данный момент, возможно попытаться осознать пути ближайшего будущего. Ибо ясно, что все, что охватывается научным исканием, что принимает законообразную форму, не является случайным или спонтанным — все, в том числе и ход научного искания и научного достижения, подчиняется непреложным законностям. А раз есть законности, мы можем научно предвидеть будущее.

Давая понятие о прошлом ходе научных исканий в этой области, я попытаюсь подойти и к ожидаемой, раскрывающейся перед нами картине будущего ее разрешения.

II

Более 2200 лет тому назад великий философ и ученый Аристотель (384–322 гг. до н.э.) дал нам ясную картину представлений о научных суждениях в этой области. Представления эти не были достигнуты научным исканием и научным творчеством. Они были восприняты наукой из философских и религиозных концепций, основаны на лежащих в их сути наблюдениях векового народного опыта, народного массового переживания. Наука лишь захватывала в ту эпоху эти концепции систематически впервые в свои представления. Аристотель в сохранившихся до нашего времени трактатах давал нам не только результаты своих изысканий, но и достижения раньше производившейся работы. Мы не можем сейчас точно установить, что принадлежит ему и что он передает как научную традицию. Несомненно, уже за несколько столетий до него подходила к научным вопросам этого рода научная мысль.

В основе этих воззрений стоит представление о делении всей природы, всех существующих в ней тел на тела живые — живые организмы и тела, лишенные жизни, — тела мертвой, или косной, природы.

Но между этими телами нет непроходимой границы. Живое тело возникает из другого живого тела и распадается на косные, лишенные жизни тела при умирании. Но мыслимо, что живое тело может возникать непосредственно из мертвой природы, минуя живое тело. Аристотель в этом вопросе занимал среднее положение, не шел так далеко, как шли другие современные ему мыслители. Он допускал возникновение живого тела из мертвого путем самопроизвольного зарождения только для отдельных групп организмов. Он не допускал его для высших млекопитающих, для птиц или человека. Но он считал, что постоянно возникают в природе из своих материальных элементов и рыбы, и мелкие млекопитающие, вроде мышей, насекомые, черви, моллюски, многие растения.

Мы должны в этом возникновении живого из мертвого отличить два явления: с одной стороны, возникновение живого организма из таких мертвых тел природы — камней, скал, воды, газов, земли, которые никогда живыми не были. Это будет *абиогенез* — зарождение вне живого, или *археогенез* — изначальное зарождение. С другой стороны, мы должны различать зарождение из умершего или умирающего живого организма, возникновение новых организмов при гниении и разложении старых — *гетерогенез* — разнородное зарождение. Наконец, должны различать третье явление — *биогенез* — зарождение из живого, подобно тому как мы это видим кругом, когда человек и другие организмы родятся от других живых, к тому же себе подобных.

Аристотель признавал биогенез для человека, птиц, почти всех млекопитающих и некоторых низших животных, некоторых позвоночных, многих растений. Он в исключительных случаях допускал гетерогенез и для высших растений и животных.

В сущности, при этом решении вопроса о начале жизни еще не было никакой постановки загадки жизни, ибо она являлась как бы частным проявлением других

тел природы, частным проявлением материи. Энергия в это время не была выдвинута как отдельная часть космоса, она сливалась в одно целое с духовным, божественным его началом.

Обычно понятной формой зарождения жизни, по представлениям того времени, являлся археогенез, или абиогенез и *загадкой являлся биогенез*. И прав был другой великий философ древности, живший через полтысячелетие после Аристотеля, Плотин (204–269), который видел в биогенезе, непрерывном зарождении организма от других организмов, величайшую тайну природы. Но в это время не было сознания, что это явление есть основное свойство живого, что живое и жизнь создаются на Земле только биогенезом.

Так продолжалось столетия, долгие столетия. Лишь через 1990 — почти 2000 — лет после смерти Аристотеля видим мы новое в научной постановке этого вопроса. Несомненно, в течение всего этого времени научная мысль не оставляла этого вопроса, но она билась в тисках, рамках решений загадки жизни, а в том числе и вопроса о ее начале, полученных религиозным, философским, художественным — сторонним ей — творчеством. Новое внесено было в 1668 г., когда уроженец Ареццо, флорентийский академик, врач и натуралист Франческо Реди (F. Redi, 1626–1697) провозгласил биогенез как единственную форму зарождения живого. Его обобщение можно выразить афоризмом, который был дан его принципу через 195 лет после него натуралистом натурфилософом Л. Океном [L. Oken (Ockenfluss), 1779–1851]: все живое происходит от живого — omne vivum e vivo.

1668 год — великий год в истории человечества. Принцип Реди — все живое из живого — есть первое научное достижение, которое позволяет нам научно подойти к загадке жизни. Остановимся поэтому на исторической обстановке, в какой он был высказан. Эта обстановка позволит нам понять, почему он так медленно проникал в научное сознание, проникает медленно и теперь; так, имя Реди едва известно за пределами специалистов. Прошло почти двести лет, прежде чем этот принцип получил краткое выражение.

XVII век — великий век в истории человечества. В этот век впервые выступила наука как реальная сила в его истории. Это век создания новой философии, новой математики, нового опытного знания. Они порвали с древней, вековой традицией средневековой науки и философии, с древней философией. Авторитет Аристотеля как философа, столетия охватывавший человеческую мысль, отошел в сторону. Но не вся научная работа шла по этому пути. Описательное естествознание — реальная основа научного мышления и понимания природы, та область научных исканий, которая одна раздвигает пределы, где затем идут дедукция разума и опытное искание, — не пошло по новому пути; оно еще долгие десятилетия оказалось тесно связанным и с Аристотелем, и даже со средневековой традицией.

В вопросе о жизни столкнулись два течения человеческой мысли. Любопытным образом к началу XVII столетия произошло одно знаменательное изменение в понимании природы, которое отбросило в сторону господствовавшее долгие столетия деление природы на два отдела — отдел живых и отдел неживых тел. В это время вместо этого деления Аристотеля и перипатетиков вошло

в науку представление о трех царствах природы, охватывающих всю природу, царствах равноценных и отдельных: царстве минералов, царстве растений и царстве животных. Оно вошло в науку из герметической философии и теснейшим образом связано с алхимией и кругом идей алхимиков. Ко времени Реди оно было уже господствующим.

На почве этого деления природы в той же первой половине XVII столетия началось изучение зарождения в природе тел каждого из этих царств, подготовившее обобщение Реди. Основным толчком этого движения были работы великого английского врача и физиолога Вильяма Гарвея (W. Harvey, 1578–1657). В 1657 г., уже стариком, он опубликовал результаты своих многолетних, давно ведшихся работ над зарождением животных и растительных тел. Он опубликовал их в неполном, незаконченном виде. Гарвею пришлось жить в эпоху революции и междоусобной войны; он был придворным врачом, сторонником побежденной партии, его дом и научные собрания — и результаты его жизненной научной работы — были сожжены и уничтожены, а его работа прервана. В этой недоконченной работе — основе современной эмбриологии — Гарвей провозгласил принцип: omne animal ex ovo — всякое животное происходит из яйца.

Но Гарвей не был противником самопроизвольного зарождения, как это можно думать из этого афоризма; он, не противореча логически точному смыслу своих собственных опытов, считал возможным и необходимым, что яйца, споры, зародыши, первоначала растений происходят — часто и постоянно — абиогенезом, вне связи с организмом. Он переносил как бы задачу к искусственному созданию яйца и первоначала растения — primordium vegetale — из элементов природы. В то время Гарвей, добившийся после долголетней борьбы общего признания своего великого открытия — кровообращения у человека и высших животных, был в сознании человечества великим ученым, «великим Гарвеем»; ко всем словам его прислушивались. И его работа обратила на себя огромное внимание.

В это же время во Флоренции при поддержке местных герцогов Медичи создался кружок ученых — Academia del Cimento, продолжавшая работу Галилея (G. Galilei, 1564–1642), занимавшаяся точными опытными исследованиями и научным наблюдением явлений природы. Одним из самых видных членов этой академии был Ф. Реди. В сохранившихся записях этой академии видно, что вскоре после выхода в свет работы Гарвея в ней подымался вопрос о самопроизвольном зарождении насекомых, притом он решался ею в той самой форме, в какой его поставил Реди. Едва ли можно сомневаться, что в этом решении — в 1657 г. — участвовал Реди, но опубликованы его опыты были в 1668 г., через 11 лет, когда уже Academia del Cimento не было; она закрылась за несколько лет до того в связи с переездом поддерживавшего ее кардинала Медичи в Рим. Реди в своей работе опубликовал как свои опыты над зарождением червей в гниющем мясе и других продуктах, так и критику всего материала чужих наблюдений, который в это время существовал в науке. Реди писал свои научные произведения на изящном итальянском языке, заботясь о красоте формы; его труды переводились немедленно на обычный язык ученых — латинский.

Необходимо остановиться в немногих словах на его личности. Это был один из лучших и наиболее известных врачей Флоренции, широко образованный человек, любивший общество, природу. Прекрасный экспериментатор, опыты которого в этой области служили основой для всех других позднейших работ, он в то же время был и тонким наблюдателем, как это показывают его работы над насекомыми и паразитными червями.

Он был членом не только ученой академии, но и академии литературной (Academia della Crusca), много работал над словарем итальянского литературного языка того времени, словарем тосканского наречия, писал сонеты, любил поэзию. От него осталась большая поэма о тосканских винах — «Вакх в Тоскане», которая была снабжена им учеными примечаниями. Из этой веселой поэмы и ее примечаний ясно виден не только мягкий эрудит-эпикуреец, но и своеобразный философ, бравший из жизни все ее хорошие стороны, но искавший в ней глубокого содержания. Он не только сам писал стихотворения, не выделявшиеся из среднего уровня, но был знатоком поэзии — итальянской, латинской, французской, провансальской. Сохранившиеся данные из его личной жизни (переписка) свидетельствуют о нем как о человеке добра, враче-гуманисте.

Реди неопровержимо доказал опытами или тонкой критикой отсутствие самопроизвольного зарождения — гетерогенеза и археогенеза — у насекомых и во всех тех случаях, которые признавались в это время в науке. Но его взгляды не были в этом отношении так просты, как взгляды современных ученых. В двух явлениях природы он думал видеть своеобразный биогенез, отличный от обычного. В это время обратили [на себя] общее внимание своеобразные образования в растениях, так называемые *галлы*, — те «орешки», которые мы постоянно видим на растениях, например на дубе, и которые играют такую видную и своеобразную роль в истории живого вещества на нашей планете. Реди в этих орешках не мог проследить зарождение насекомого, их вызывающего, нередко вылетающего из орешка при его созревании, и предположил, что это насекомое (тля и т.п.) образуется жизненным путем — из живого растительного организма — так же, как в живом растении появляются цветок и семя. Это не чудо, а особое сложное проявление законностей жизни.

Это не было самопроизвольное самозарождение. Организм образовывался закономерным путем — в живом организме же и из живого же организма. Реди думал, что нашел новое сложное явление в природе, и считал возможным, что то же самое явление иногда наблюдается и для внутренних паразитов, червей у животных и человека, различный характер которых для разных видов их хозяев был для него ясен.

Еще при жизни Реди Мальпиги (M. Malpighi, 1628–1694) доказал вместе со своим учеником Валлисниери (A. Vallisnieri, 1661–1730) ошибку Реди, нашел в галлах яички насекомых, и Реди, после того как его друг Честони (H. Cestoni, 1637–1718) подтвердил опыт Мальпиги, оставил и не издал многолетнюю свою работу, посвященную развитию и обоснованию взглядов.

Но и эта ошибка Реди не нарушила основ установленного им принципа. Omne vivum e vivo существовало и в этом случае. И вскоре сознание этого явилось господствующим среди натуралистов.

Два человека должны быть упомянуты одновременно с Реди, как устанавливающие этот принцип: голландец Сваммердам и итальянец Валлисниери. Сваммердам (J. Swammerdam, 1637–1680) работал независимо от Реди; он, так же как и Реди, доказал ошибки Гарвея и установил отсутствие самопроизвольного зарождения у насекомых. Эти исследования стали известными лишь в небольшой своей части в XVII столетии, хотя уже тогда обратили на себя внимание и оказывали влияние на ученых, как это было характерно для того времени, благодаря широко развитой рукописной международной научной переписке. Главные работы Сваммердама были опубликованы спустя десятки лет после его смерти, в 1730-х годах, когда эта истина стала для всех уже ясной. Он, так же как Стенсен, в разгар своей научной работы пережил религиозный перелом, бросил научные изыскания и ушел в крайнюю — протестантскую — мистику.

Совершенно другую фигуру представляет болонский ученый Андрей Валлисниери, верный ученик великого ботаника Мальпиги. Валлисниери в ряде работ развил принцип Реди, установил его непреложность во всей области тогда известных явлений. Валлисниери пытался придать ему другое выражение для избежания заблуждений, в какие впал Реди. Валлисниери выразил биогенез ограничительно. Он говорит: всякий подобный организм происходит из себе подобного. Это обобщение Валлисниери принял Линней (C. Linne, 1707–1778) в основу своей «Системы природы», и оно почти столетие считалось наиболее точным и правильным выражением действительности.

Между тем через 105 лет после его провозглашения Валлисниери, в 1815 г., во время русской кругосветной экспедиции О.Е. Коцебу (1787–1846) на «Рюрике», снаряженной Н. Румянцевым (1754–1818), натуралисты — немецкий поэт А. Шамиссо (A. Chamisso, 1781–1838) и И. Эшгольц (1793–1831) открыли чередование поколений у сальп, противоречащее обобщению Валлисниери. Эти наблюдения Шамиссо и Эшгольца были забыты и не раз вновь открываемы другими. Аналогичные явления найдены и в других классах животных, и к 1850-м годам вновь мы должны были вернуться к взглядам Реди, как к более общим и широким: omne vivum e vivo — все живое из живого. По-видимому, Валлисниери, более свободный в религиозном отношении мыслитель, чем Реди, подходил к идее вечности жизни, но ясно (сколько знаю), возможно по цензурным условиям времени, он этой идеи в напечатанных работах не выразил.

После работ Валлисниери принцип Реди, казалось, утвердился в науке. Но, по существу, он стоял в полном противоречии с достижениями тогдашней философской мысли, с представлениями религии и художественного воссоздания природы. И вскоре новые, открытые в науке явления возродили старые идеи.

Еще при жизни Реди и до выхода в свет его трактата начал перед натуралистами открываться новый мир организмов — не видимый простым глазом мир микроскопических существ. Поуэр, английский врач (H. Power, ум. в 1673 г.), опубликовал свои немногочисленные наблюдения еще до 1668 г. (в 1664 г.), но только через несколько лет, в 1670-х годах, голландец Левенгук (A. Leeuwenhock, 1632–1723) открыл этот новый мир во всем его разнообразии и значении.

Левенгук считал, что и эти мелкие организмы точно так же образуются биогенезом; но так думали далеко не все. Мир этот оказывался все более и более значительным; сперва думали, что он более велик и разнообразен, чем видные простому глазу организмы. По-видимому, это не так, но все же он оказался вездесущим. Его находили в воде, воздухе, земле, в пыли, почве, среди других организмов, он появлялся всюду при гниении и брожении. Казалось, вся природа проникнута жизнью и жизнь появляется всегда при удобных для нее условиях тепла, света, влаги. При этом неизвестно было, куда относить эти новые формы организмов — к растениям или животным, или необходимо создать для них новое царство. Линней, великий и глубокий систематик, образно выразил это чувство, назвав их «хаосом инфузорий», из которого дальше рождаются более ясные и определенные живые существа. Еще до конца XVIII в. линнеевский хаос не сходил с научного языка. Явилось сомнение в принадлежности их к животным, и к растениям, и к обычным организмам, а в таком случае и к возможности распространить на них принцип Реди.

В 1740-х годах, через 10 лет после смерти Валлисниери, эти сомнения получили, казалось, реальное обоснование. Английский ученый иезуит Нэдгам (J. Needham, 1713–1781) и один из величайших натуралистов — Леклерк Бюффон (G.L. Leclerc de Buffon, 1707–1788), работавшие сперва отдельно, объединившись в общей работе, в ряде наблюдений и опытов пытались доказать, что мир микроскопических организмов по существу отличен от животных и растений. Эти существа, по их мнению, не обладают всеми свойствами организма, не происходят из себе подобных. По Нэдгаму, это живые вещества, не обладающие чувствительностью; при дальнейшем дроблении они становятся невидимыми и переходят в элементарные молекулы тел. По Бюффону, они или сами представляют из себя органические молекулы, или приближаются к тем особым, отличным от строящих косную материю частицам — органическим молекулам, на которые распадается организм после смерти и из которых состоит при жизни. Казалось, их опыты указывали, что обобщение Валлисниери для них неприменимо. Подобное среди них не происходит из подобного.

Вопрос о гетерогенезе получил особое значение, хотя для Бюффона не в этом был центр тяжести, так как Бюффон принимал постоянство своих органических молекул в природе, их неуничтожаемость, так что, с его точки зрения, здесь могло не быть ни биогенеза, ни гетерогенеза; комплексы органических молекул становились все мельче, становились невидимыми, а затем обратно вновь слагались в новые существа, одаренные неполной жизнью. Эти «молекулы» были бессмертны, и они слагали все организмы. При их распадений они проходили через те микроскопические существа — неполные организмы, которые были открыты Левенгуком.

Наблюдения и спекуляции Нэдгама и Бюффона обратили на себя внимание и вызвали новый подъем идей гетерогенеза, охватив даже ученых, отбрасывавших идею органических молекул Бюффона, но принявших указанное им и Нэдгамом резкое отличие микроскопических организмов от обычных. Многие не признавали их за полные организмы. Гетерогенезом они объясняли появление их в среде, где не было их зародышей.

Опыты Нэдгама, Бюффона и их сторонников были подвергнуты проверке и критике итальянцем — аббатом проф. Спалланцани (G. Spallanzani, 1729–1799) и молодым русским ученым — украинцем М.М. Тереховским (1746–1790)[1], потом профессором в Петербурге, забытым сейчас видным русским ученым. И хотя мы теперь видим, что Спалланцани и Тереховский были правы, их идеи не имели успеха у современников.

Конец XVIII, начало XIX столетия являются временами возврата к гетерогенезу. Помимо микроскопических существ, его опять стали применять к паразитным червям, тайнобрачным растениям, грибам или плесеням и т.д. В это время сторонники биогенеза под давлением научных фактов становились его противниками. Такой перелом взглядов произошел у такого крупного ученого, как Ж. Ламарк (J. de Monnet de Lamark, 1744–1829). А не менее вдумчивые и серьезные исследователи, как Тревиранус (G.R. Treviranus, 1776–1837), повторяя опыты Спалланцани и Тереховского, признавали их неубедительными и видели значение работ Нэдгама и Бюффона в том, что они заставили науку отойти от достижений Реди и вернуться на верный путь старых воззрений.

Движение мысли остановилось на этом пути почти на столетие, до середины прошлого, XIX в.

И лишь медленно накоплялся научный материал, который указал, что научное искание сошло с правильного пути, на который оно стало в 1668 г.

Но никогда и в это время не было полного возвращения к старому. Идея Реди не замирала никогда. Все время появлялись упорные сторонники общего биогенеза, крепко державшиеся за принцип Реди. Этот принцип без всяких колебаний признавался для всех классов высших растений, позвоночных, насекомых, в подавляющем большинстве беспозвоночных и низших растений, везде, где история организмов была изучена. Он был все время живым в научном сознании, но не считалась доказанной его всеобщность для всего живою.

К этому пришли лишь после новых долгих десятилетий научной работы. Путь научной мысли, к этому приведший, был сложный. Любопытно, что одновременно с возрождением гетерогенеза и археогенеза изменялись и другие биологические воззрения, причем эти изменения отнюдь не отвечали нашим логическим требованиям. Так, казалось, что резкое деление природы на два царства — живое и мертвое — должно было бы совпадать с победой биогенеза. В действительности мы наблюдаем резко иное.

Я уже указывал, что старое деление Аристотелем природы на живую и мертвую пало в первой половине XVII столетия, как раз тогда, когда подготовлялось первое доказательство реального существования различия между живым и мертвым. Точно так же в середине и конце XVIII в. оно вернулось вновь в научное сознание, как раз тогда, когда снова возродились археогенез и гетерогенез.

В 1766 г., кажется впервые, молодой тогда немецкий ученый, вскоре знаменитый русский академик П.С. Паллас (1741–1811) провозгласил и доказал единство растительного и животного царств и необходимость деления тел природы на два царства:

---

[1] Он называл себя в латинской работе (1775) «Russo-Ucrainus».

царство живых — население планеты и царство мертвых — ее территорию. Паллас все время придерживался принципа Реди и был одним из немногих крупных натуралистов, которые шли своим путем, впереди своего времени, нередко не понятые своими современниками. Мы, его потомки, до сих пор не воздали ему должного и не сознаем, чем ему обязаны. Обыкновенно и это своеобразное возрождение старого деления природы приписывается не Палласу, а французским натуралистам, работавшим независимо от него, но высказавшим свои идеи на 20 лет позже. Его приписывают великому анатому и мыслителю Ф. Вик д'Азиру (1786) (F. Vick d'Azyr, 1748–1789) и А. Жюсье (A.L. Jussieu, 1748–1838), независимо от Вик д'Азира, развивавшему те же идеи, которые он, по-видимому, проводил долгие годы раньше в Ботаническом саду (Jardin des plantes) в Париже при установлении своей системы растений.

С конца XVIII в. это деление природы на два отдела — живую и мертвую — установилось прочно, и, очевидно, оно при существовании принципа Реди получало совершенно иное значение в построении космоса, чем то же деление во времена Аристотеля при господстве идей самопроизвольного зарождения.

Еще большее значение имело точное изучение мира микроскопических организмов. Мало-помалу выяснилась его сложность. Во всех случаях, когда какой-нибудь из этих организмов начинали изучать более внимательно, находили полное подтверждение принципа Реди. Идеи и Нэдгама, и Бюффона были давно уже всеми забыты. Невольно мысль натуралистов в первые десятилетия XIX в. возвращалась к старым представлениям, и незаметным накоплением фактов все большее и большее значение приобретал принцип Реди. Старое представление Валлисниери и Линнея, отрицание самопроизвольного зарождения, нашло себе горячих сторонников и в области изучения этих явлений. Одним из важнейших среди них был берлинский ученый Эренберг (C. Ehrenberg, 1795–1876), десятки лет жизни посвятивший изучению микроскопических организмов. Эренберг преувеличивал в другую сторону. Он считал мелкие организмы, открытые Левенгуком, какими, например, были инфузории, «совершенными организмами», находя в них такие органы, которые существуют только у организмов многоклеточных. Любопытно, что эти взгляды Эренберга ближе к современным, чем к представлениям конца XIX столетия.

Как раз в его время в биологии намечалось новое течение, приведшее в конце концов к полной и глубокой переработке ее содержания и спаявшее единство животного и растительного царств, — это учение о клетке и общем субстрате жизни — протоплазме. Один из основателей учения о клетке — Шванн (T. Schwann, 1810–1882) в 1880-х годах повторил в лучшей технической обстановке опыты Спалланцани и доказал их правильность.

К середине XIX столетия идеи о биогенезе явно стали укрепляться, и к самому началу 1860-х годов они вновь охватили сознание натуралистов. В конце 1850-х годов внимание натуралистов обратилось к самым мелким организмам, едва поддавшимся тогдашней микроскопической технике, к тем, которые наиболее ярко проявлялись во время процессов гниения и брожения. В 1850-х годах возникал вопрос о том, являются ли эти процессы химическими или биологическими и если они являются биохимическими, образуются ли находящиеся в них

организмы биогенезом или гетерогенезом. Либих (J. Liebig, 1803–1870), Траубэ (M. Traube, 1826–1894), Ван Брэк, Душ (T. Dusch), Шредер и другие собрали огромный материал для решения этих вопросов.

В начале 1860-х годов эти явления вызвали знаменитый спор между Пастером и Пуше, двумя сторонниками биологического объяснения брожения и гниения, приведший к новой победе принципа Реди, победе биогенеза. Спор был начат Пуше (F. Pouchet, 1800–1872), который в целой книге о гетерогенезе пытался доказать его существование и значение в природе. Пуше был талантливым, своеобразно мыслящим, самостоятельно идущим натуралистом-зоологом, обладающим широким образованием, горячо преданным истине. Пастер (Louis Pasteur, 1822–1895) выступал как химик, владевший экспериментальным методом, вошедший в новую для него область знания с новыми методами и приемами работы и увидевший в ней то, чего не видели в ней ранее ее изучавшие натуралисты-наблюдатели.

Любопытно, что в целом ряде случаев Пастер только повторял — самостоятельно и в новой обстановке — старые опыты Спалланцани, но в этой новой обстановке они производили иное впечатление на современников.

В этом научном споре победил в сознании натуралистов Пастер, что не удалось на 90–100 лет раньше Спалланцани и Тереховскому. Любопытно, что, как мы теперь знаем, в некоторых случаях опыты Пуше были более верны, чем опыты Пастера, но толкование Пуше все же оказалось неверным. Если бы эти опыты были тогда же продолжены, как хотел Пуше, чего, однако, Пуше и Пастер не сделали, они могли бы остановить на некоторое время течение научной мысли, ибо объяснения Пастера тоже не были достаточны и он не смог бы понять неизбежного из этих опытов противоречия своим воззрениям[1].

Как часто бывает в истории знания, и особенно опытного знания, несовершенный опыт дает для данного времени больший результат, чем опыт, доведенный до конца. Это связано с временностью всякого нашего знания, с необходимостью пройти промежуточные состояния для понимания и уяснения истины.

В споре Пастера и Пуше примешались интересы, чуждые науке. Странным образом сторонниками биогенеза явились духовные католические круги, а противниками Пастера были позитивисты[2]. Этот новый элемент спора явно указывал, что вопрос выходит за пределы чисто научных интересов, затрагивая другие жизненные интересы, вне науки лежащие. Отголоски этого сказались и у нас. В статьях Д.И. Писарева (1840–1868) и других в журналах того времени, которые считались прогрессивными, провозглашалась победа гетерогенеза, и русские «передовые» круги, какими их считали современники, были противниками Пастера.

---

[1] На это ярко указывает Дюкло, ученик и сторонник Пастера, в своей прекрасной характеристике Пастера. Несомненно, в этих же опытах кроются корни всех исканий современных гетерогенистов, так как в этой области логически допустимы сомнения.

[2] Любопытно, что в споре Нэдгама и Бюффона со Спалланцани, Тереховским и др. мы наблюдаем совершенно то же настроение. Вольтер (F.M. Arouet de Voltaire, 1694–1778) обвинял (1766) Нэдгама и Бюффона в атеизме.

Но научные вопросы не решаются политическими или религиозными симпатиями и антипатиями. Пастер победил, ибо он глубже смотрел в явления жизни, чем его противники, научное мировоззрение которых в общем основывалось на более узком фундаменте.

К тому же времени, к 1860-м годам, закончился и выяснился и другой многовековой спор в пользу биогенеза, который вели еще в XVII столетии Реди и Валлисниери. Выяснился окончательно биогенез паразитных червей человека и высших животных. Еще в 1864 г. К.М. Бэр (1792–1876), касаясь этого вопроса, считал вопрос не решенным для паразитных червей, хотя в это время уже были опубликованы работы Ван Бенедена (P. Van Beneden, 1809–1894) и Кюхенмейстера (S. Küchenmeister, 1821–1890), а вскоре и другие, разъяснившие впервые значение разных животных — хозяев паразитов — в сложном цикле их развития и этим путем позволившие просто объяснить явления, веками возбуждавшие сомнения. Их работы, начавшиеся в 1860-х годах, проложили путь, по которому пошла научная мысль, и, в сущности, уже в 1864 г. вопрос был ясен, но этого не видел Бэр. Вскоре в этой области обычный биогенез перестал вызывать какие бы то ни было сомнения.

Таким образом, с 1860-х годов принцип Реди вошел в научное сознание в еще большей степени, чем раньше. Особенно увеличилось его значение благодаря развитию учения о клетке. Для клеток, элементарного организма, из которых составлен сложный организм большинства животных и растений, стал тот же вопрос, который является и для отдельного — простого и сложного — организма. Откуда зарождается клетка? Получается ли она из клетки же или образуется гетерогенезом или каким-нибудь особым биогенетическим путем, вроде того, который Реди допускал для насекомых в галлах и внутренних паразитных червей.

В конце концов в 1840-х годах победило течение, руководимое Вирховым (R. Virchow, 1821–1902): *omne cellula e cellula* — всякая клетка из клетки. И мы знаем, что этот процесс идет дальше: всякая клетка происходит из себе подобной. По мере углубления в строение клетки она оказывалась все более и более сложной. Мы видим в ней до известной степени автономные части, и для них пришлось допустить то же представление: omne nucleus e nucleo, omne plastida e plastida — ядро происходит из ядра же, пластида — из пластиды. Это явление, открывающееся в клетке, имеет сейчас огромное значение, так как оно позволяет критически отнестись к тем новым проявлениям гетерогенеза, которые начинают вырисовываться на научном горизонте XX в.

За 60 с лишком лет, протекших после знаменитого парижского спора, накопился огромный материал, исключивший из возможного гетерогенеза и археогенеза *весь* без исключения *известный нам животный и растительный мир*, тот мир, основой которого является клетка. Но за последние годы нам открываются за пределами его новые горизонты. С одной стороны, открываются организмы, не дозволяющие морфологического изучения, не видные в микроскопы и даже ультрамикроскопы, соизмеримые с длинами световых волн. Для них ставятся в XX в.

те же вопросы, какие в XVIII в. вызвало изучение микроскопических организмов. Существа ли это нового рода или такие же, как те, к которым приложим принцип Реди? Пойдет ли научное развитие здесь по старому пути, повторится ли новый взрыв гетерогенеза, который будет временно иметь место в науке, пока эти природные тела не будут точно изучены, или же действительно здесь мы подходим к новому и ранее не наблюдавшемуся явлению жизни?

Сторонники гетерогенеза и археогенеза все время продолжают свою работу и после того, как главное течение научной мысли ушло в другую сторону. Научная традиция здесь не прерывалась. После Пуше, Бастиана, Бёшана сейчас целый ряд их последователей не оставляют своих исканий. Они переносятся в мельчайшие проявления жизни, в более элементарные тела, чем клетки, — в микросомы, геммулы и т.д. — явления гетерогенеза или абиогенеза.

Глубокие изменения в научных воззрениях биологов, связанных с представлением о клетке как о единой форме организации, строящей организм, которые происходят в XX в., несомненно, заставляют внимательно присматриваться к этим новым исканиям, пытающимся возродить старые представления. Признавая отсутствие гетерогенеза или археогенеза в настоящее время в организмах, так или иначе сводимых к клетке, возможно предположить, что эти явления будут существовать в том новом мире живых форм, который имеет иную структуру, для которой клетка является отличным от них сложным образованием.

В клетках начинают открываться сторонние, независимые от них мелкие организмы: бактерии в одних и несовершенные организмы, т.е. микросомы, в других. Эти тельца освобождаются из содержимого клеток при их разрушении и способны в некоторых, по крайне мере, случаях к существованию после смерти клеток и гибели составленного из них организма. Эти явления, охваченные теоретическими представлениями, например Л. Портье (1919), приводят к механизмам, очень схожим с теми, какие строились Нэдгамом или Бюффоном. Однако неясен вопрос о происхождении этих бактерий или микросом. Ничто не указывает, чтобы они не были подчинены принципу Реди. И это допустимо как по отношению к микросомам клеток, так и к случаям их внеклеточного существования, если только оно возможно.

И с этой точки зрения приобретает особое значение то, что все мельчайшие элементы в клетке, которые мы можем реально изучать и которые хорошо изучены, — ядра или разного рода пластиды — неуклонно указывают нам на то, что для них нет ни гетерогенеза, ни археогенеза, ни даже расширенного биогенеза. И здесь приходится допустить резкую границу между этими мельчайшими проявлениями жизни и косной материей.

Как будто та же преемственность во времени и независимость от косной материи, какие наблюдаются для целых организмов, сохраняются неизменными и в их морфологически обособленных частях.

Сейчас мы должны признать, что:

1. Факты не дают нам ни одного указания на образование археогенезом или гетерогенезом из мертвой или неживой материи какого-нибудь организма в наблюдаемых на земной поверхности проявлениях жизни.

2. Все до сих пор поставленные опыты такого синтеза живого неуклонно давали отрицательные результаты. Живое не получено из мертвого, и нет ни малейшего успеха, никакого достижения в этих исканиях.

3. История науки указывает, что представления об археогенезе (или гетерогенезе) существовали только до тех пор, пока определенная группа организмов была плохо изучена. Начиная с конца XVII столетия, постепенно область возможного археогенеза (абиогенеза) суживалась, и, наконец, в настоящее время не осталось ни одного вида животных или растений, для которых можно было бы допускать его существование.

И однако, несмотря ни на что, мы видим, как неуклонно возрождаются искания абиогенеза. Человеческая мысль не мирится с неудачами опытов и накопленными вековым научным наблюдением выводами. Она ищет созданного ею явления, ненаходимого в природе.

Отчасти это объясняется тем, что представление об археогенезе и гетерогенезе имеет корни не в науке, а в философских исканиях. Отрицательный вывод научного искания не может разрушить представление, с ним неразрывно не связанное. Но жизненность его определяется и другой причиной. Необходимость признания гетерогенеза и археогенеза сейчас или когда-нибудь на Земле или где-нибудь вне ее пределов кажется огромному большинству натуралистов и философов логически неизбежной.

Несмотря ни на что, человечеству кажется, что жизнь должна была бы когда-то иметь иное начало, чем то, которое мы наблюдаем в зарождении живого организма из такого же живого.

Прежде чем перейти к рассмотрению логической правильности этого убеждения, необходимо точнее определить область явлений, для которых наука не находит проявлений абиогенеза (и гетерогенеза).

III

Мы можем считать их отсутствие в современных процессах Земли — среди известных ныне организмов — доказанным. Но было ли это так всегда в течение геологической истории, не было ли оно возможно для всех тех бесконечных видовых форм живого вещества, которые населяли нашу Землю в прошлые геологические периоды?

Обращаясь к геологическим фактам, мы должны констатировать, что первые прямые указания на существование живых существ на Земле мы наблюдаем в древних докембрийских отложениях, относимых к альгонкской эре, к ее концу. И уже здесь мир организмов наблюдается в таком развитии, которое несомненно указывает, что альгонкской фауне предшествовали бесчисленные века более древних организмов, которые не оставили нам своих следов или следы которых до сих пор не найдены. Мы должны признать, что начало жизни, если оно было, уходит куда-то в глубь геологических веков. Нет никаких сомнений, что все организмы, остатки коих наблюдались в этих древних геологических слоях, обра-

зовывались обычным путем, биогенезом обычного типа. Ни один палеонтолог не решился допустить — и никто не допускал — абиогенеза для происхождения древних организмов, остатки и следы которых мы находим в каменной летописи геологических времен.

Но куда девались следы этих организмов? Ниже палеонтологически почти безмолвных альгонкских слоев лежат огромные толщи слоев архейской эры, палеонтологически совершенно безмолвные, для которых геологи признают большую длительность времени, чем для всех геологических периодов, охваченных жизнью, вместе взятых.

Характер этих слоев выяснился только путем медленного научного творчества. Более ста лет тому назад, в начале XIX столетия, ясно стало, что всюду на земной поверхности ниже слоев, содержащих остатки организмов, лежат слои безжизненные. Это наблюдение произвело огромное впечатление и оказало огромное влияние на научную мысль. Строгий и яркий ученый, всегда основывавшийся на фактах, сторонник биогенеза, Кювье (Georges Léopold Chrétien Frédéric Dagobert Cuvier, 1769–1832) указывал с удивлением, что наука вынуждена поставить вопрос о начале жизни на Земле, так как, очевидно, было на Земле время, когда на ней жизни не было. Каким путем на ней появилась жизнь, он не решал, но вопрос он поставил совершенно ясно и указал, что наука не может с ним не считаться. Это было для него совершенно новое явление, новый научный факт. Натуралисты более смелые в своих спекуляциях — а философскими спекуляциями было охвачено естествознание первой четверти XIX в. — шли дальше. Сторонники космической жизненной силы, например Тревиранус, считали, что жизненная сила, как всякая другая сила в космосе (например, сила тяготения), существует и действует всегда, предполагали, что жизненная сила проявлялась в этих стадиях Земли в иных формах, чем теперь, что вся материя тогда была охвачена жизнью, не было резкого разделения между живым и мертвым, сама Земля жила как организм. Эти идеи Тревирануса (1805) чрезвычайно напоминают философские спекуляции, которые лежат в основе одной из западноевропейских философских систем, еще живой и в наше время, — философии Фехнера (G.T. Fechner, 1801–1887); они и сейчас имеют последователей. Тревиранус и другие философствующие натуралисты и философы допускали проявления жизни, не связанные с живым организмом, который мы изучаем в зоологии и ботанике.

Открытие нижних, азойных (безжизненных) слоев земной коры совпало с тем влиянием, какое оказала благодаря Лапласу (P. de Laplace, 1749–1827) в это время космогония на научную мысль. Прошлое Земли явно оказывалось резко иным, чем настоящее, и в реконструкции прошлого нашей планеты мысль пыталась проникнуть в глубь времен, к эпохе создания нашей планеты. Связывая происхождение Земли с былым газообразным, раскаленным до высокой температуры Солнцем, придавая и Земле в далекие периоды ее существования расплавленное состояние, Лаплас неизбежно считал Землю в этой стадии ее развития лишенной жизни. Открытие азойных слоев отвечало вполне космогоническим представлениям; в этих слоях, отличающихся и морфологическими особенностями, состоящих из кристал-

лически слоистых (сланцы, гнейсы) или кристаллически массивных (гранит) пород, начали видеть первичную кору застывания когда-то жидкой, расплавленной планеты. Жизнь тем или иным путем должна была появиться на ней много позже.

Но эти воззрения встретились немедленно с другим представлением о причинах безжизненности этих слоев, которое в конце концов оказалось верным. Кажется, впервые их развили Гёттон (J. Hutton, 1726–1797) и его последователь Плейфер (J. Playfair, 1748–1819). По их представлениям, мы нигде не имеем на Земле не измененных позднейшими процессами слоев; на всем протяжении геологической истории мы видим в общем проявление тех же самых процессов, которые мы наблюдаем и сейчас. Эти процессы тянутся в глубь веков, и под их влиянием слои, когда бы они ни отложились, изменяются все больше и больше, по мере того, как проходит время. Они изменяются под влиянием сил, и ныне непрерывно действующих: Гёттон и Плейфер выдвинули значение явлений метаморфизма, с течением времени изменяющих горные породы до неузнаваемости. «В экономии мира, — говорит Гёттон, — я не могу найти никаких следов начала, никаких указаний на конец». Под влиянием этих процессов мы не видим никаких следов первичной земной коры, если она была. Древние следы организмов ими до конца уничтожены, и на некоторой глубине слои, переполненные остатками организмов, превращаются в азойные. Азойные, лишенные жизни, слои представляют из себя всецело метаморфизованные горные породы. Совершенно понятно, что их можно будет встретить всюду ниже древнейших слоев с признаками жизни.

Несомненно, научная работа XIX столетия выяснила правильность этого взгляда, и анализ азойных древнейших отложений земной коры — архейских пород — показал с несомненностью, что в них мы видим измененные осадочные породы, отлагавшиеся в среде, где находилась жизнь. Работы лучших знатоков этих отложений, например Седергольма в Финляндии, указывают, что физико-географические условия этих древнейших земных времен были очень близки и очень схожи с современными. И нигде при реконструкции этих физико-географических условий не видно никаких указаний на отсутствие жизни, наоборот, мы всюду видим косвенные доказательства ее присутствия.

К этим указаниям развитие геохимии за последнее время прибавляет новое. Строение архейских горных пород, нахождение среди них конгломератов, песчаников, известняков, углистых (графитовых) выделений, глин и т.п. явно указывают на широко развитые в это время процессы выветривания, т.е. воздействия атмосферы и гидросферы — кислорода, углекислоты и воды — на силикатовые массивные породы.

Мы знаем, что все процессы выветривания идут сейчас при самом энергичном и непрерывном участии жизни, переполнены биохимическими реакциями. Если бы жизни не было, они шли бы иначе. Но никакого отличия этих древнейших отложений, связанных с процессами выветривания, от аналогичных современных пород мы уловить не можем. И мы должны признать, что процессы выветривания и тогда, как и теперь, регулировались жизнью, игравшей в них ту же самую роль, какую она играет в них в нашу эпоху. Неизменность продуктов этих

реакций и их количественных соотношений служит едва ли опровержимым указанием на существование жизни на всем протяжении альгонкской и архейской эр.

Таким образом, научная мысль в нашем XX в. приходит к выводу, что не только в настоящих геологических условиях, но и на протяжении всех геологических веков на нашей Земле существовала жизнь, одинаковым образом отражавшаяся на химических процессах земной коры. И нигде здесь мы не видели признака археогенеза или гетерогенеза. Наоборот, все указывает нам на то, что все это время — десятки и сотни миллионов лет — принцип Реди не нарушался; живое происходило всегда из живого. Современные организмы непрерывно связаны с организмами прошлыми. Живое вещество XX в. составляет единое во времени явление с живым веществом — организмами, морфологически нам неизвестными, архейской эры.

IV

Но геологические эры не охватывают всей истории Земли. До них существовала Земля и проходила ее история. Но эта история не может изучаться методами геологии.

В геологии мы, несомненно, постоянно встречаемся с указаниями на явления гораздо более длительные или древние, чем те, которые наблюдаются в архейской эре. О них мы знаем очень мало, ибо мы можем судить о них лишь по косвенным данным. Один вывод по отношению к этому туманному времени может быть сделан с несомненностью: в эти, по сути, чуждые нам времена наша планета была по своим физико-географическим, а надо думать и химическим (и, может быть, радиохимическим), условиям не похожа на ту Землю, какая изучается в летописях геологии. Условия, изучаемые в этих летописях, не идут без конца в глубь веков существования Земли.

Но какие это были условия, не похожие на нынешние? Понятие о них дает нам не геология, а космогония. Эти условия мы не можем выяснить на основании изучения земных слоев, геологу доступных, а так как они по времени предшествуют геологическим периодам, то мы должны относить их не к геологическим периодам, а к предшествующим им *космическим периодам* существования Земли.

Наши знания о космических периодах истории Земли иного характера, чем наши знания о периодах геологических. Они менее достоверны, основаны на предположениях и гипотезах. Дедукция и гипотеза для них являются основными формами искания истины, конкретное наблюдение отступает на второй план.

Неизбежно проникают космогонические представления в геологию; без них нельзя обойтись, так как космические периоды Земли — это реальный факт: о*ни были*, и они так или иначе отражаются и до сих пор в окружающей нас природе. И мы упорной работой, коллективным трудом, индивидуальным творчеством можем подойти к их пониманию. Но сейчас мы от этого очень далеки и едва ли подошли в этой области к каким-нибудь прочным научным достижениям.

Бесконечно разнообразны и противоречивы картины прошлого Земли и понимание ее космических периодов, которые научно допустимы, и одинаково при-

водят они к тому состоянию Земли, которое изучается в геологии. Одновременно существуют и представления о Земле как исконной части Солнечной системы, постепенно переходящей из газообразного и расплавленного состояния в ту твердую, с поверхности холодную планету, какую мы реально наблюдаем, и те представления, которые принимают ее зарождающейся из медленно собирающихся скоплений твердых космических телец или даже пыли или допускают появление ее в Солнечной системе как стороннего, двигающегося в мировом пространстве тела, захваченного притяжением Солнца. Очевидно, космическое прошлое Земли, столь различно возможное, нам научно неизвестно. Мы можем пока о нем только *догадываться*, но не знать.

Не зная научно этого прошлого, очевидно, мы не можем научно решить вопрос о генезисе в нем жизни, *если* он произошел в космические периоды земной истории. Другого времени для этого нет, ибо в геологических временах зарождения жизни не было.

Для представления об этом генезисе в космические периоды можно ставить только предположения. И эти предположения в самой разнообразной форме делались и делаются теми учеными, которые, примиряясь с доказанностью отсутствия археогенеза (абиогенеза) среди современных и ископаемых организмов, переносят его искание, исходя из кажущейся им его логической неизбежности, в космические периоды земной истории.

Среди этих предположений можно отличать два резко различных направления.

Возможно представление, что абиогенез по той или иной причине произошел единожды в земной истории, причем в дальнейшем жизнь передавалась от организма к организму обычным путем — биогенезом. Эти причины могли быть разного характера: проявление воли творца, как это думали Реди и многочисленные натуралисты позднейших времен; «случай» — единожды происшедшее и не повторившееся исключительное совпадение благоприятных для возможности самопроизвольного зарождения условий и, наконец, особые условия того космического периода в истории Земли, когда такой абиогенез оказался возможным. Как легко видеть, все эти теории так или иначе являются выражением субъективного убеждения исследователя в необходимости признания такого абиогенеза для объяснения дальнейшей наблюдаемой преемственной во времени жизни. При такого рода представлении, если мы оставим в стороне первое чисто теологическое вненаучное объяснение, возможно стремиться к опытному воссозданию абиогенеза в наших лабораториях и институтах. Вполне мыслимо, что особые условия «случая» или особой космической среды могут быть найдены и воссозданы человеческим разумом.

Но наряду с такими представлениями об абиогенезе в одном из космических периодов в истории Земли существуют другие представления, которые считают, что абиогенез не может быть воспроизведен в наших лабораториях, так как он связан — совершенно неразрывно — с геологическим временем, со всем эволюционным процессом выявления морфологических форм организмов. Абиогенез, по этим представлениям, был в начале эволюционного процесса, был, может быть, процессом длительным, неповторяемым в условиях существования Земли, как недостижи-

мо и неповторяемо для нас искусственное обратное превращение позвоночных в их отдаленных — беспозвоночных — предков. Абиогенез, по этим представлениям, есть одна из *стадий* эволюционного процесса, связанная с теми неповторяемыми и невосстанавливаемыми земными условиями, какие не повторяются и не восстанавливаются для любого эволюционного изменения организма. Мы прежде всего не можем восстановить необходимое и неизбежное для этого — *время.*

Не буду здесь останавливаться на отдельных попытках этого рода представлений. Это любопытная страница в истории человеческой мысли, страница, далеко не дописанная, постоянно безнадежно пополняемая. Бесконечны формы таких возможных представлений, и долго не иссякнет их воспроизведение, если сохранится убеждение в том, что вопреки научному наблюдению биогенез не мог быть единой формой зарождения жизни.

Но существует ли логическая необходимость таких представлений, как думают многие и как постоянно приходится слышать? Должна ли неизбежно жизнь иметь начало из косной материи?

V

Ответ дает наблюдение истории, хода научного творчества.

Оно показывает, что одновременно с исканиями абиогенеза или археогенеза в современном, геологических или космических периодах истории Земли существуют иные научные представления, опирающиеся на признание отсутствия начала жизни на Земле, т.е. отсутствия появления живого непосредственно из мертвой материи.

Признавая биогенез, согласно научному наблюдению, за единственную форму зарождения живого, неизбежно приходится допустить, что начала жизни в том космосе, какой мы наблюдаем, не было, поскольку не было начала этого космоса. Жизнь вечна постольку, поскольку вечен космос, и передавалась всегда биогенезом. То, что верно для десятков и сотен миллионов лет, протекших от архейской эры и до наших дней, верно и для всего бесчисленного хода времени космических периодов истории Земли. Верно и для всей Вселенной.

В течениях научной мысли этого характера мы можем различить два направления.

Одно, более ограничительное, связано только с земными условиями и касается жизни на Земле. Другое стремится охватить вопрос глубже и ставит научной мысли задачи более широкие и, как мне кажется, могущие иметь большое значение для всего мировоззрения человека, если эти представления получат научные подтверждения.

Первое представление отвечает на вопрос, как появилась жизнь на Земле в космические периоды ее существования, когда Земля неизбежно была в условиях, отличных от современных, следовательно, совершенно неблагоприятных для развития жизни. Я оставлю в стороне при этом те спекуляции натуралистов, которые расширяют представление о жизни, как это делал сто лет назад Тревиранус, о котором я говорил, выводя жизнь за пределы современного организма, и как это

много раз в разных формах много позже повторялось крупными учеными, например, известным физиологом Прейером (W. Pгeуег, 1841–1897), допускавшим жизнь при высоких температурах. Несомненно, в этих представлениях «жизнь» может зарождаться в чуждых по условиям биосферы областях Земли, но это не будет та жизнь, законы которой изучает биолог.

В таких представлениях мы выходим из области научно изучаемой жизни. Жизнь, изучаемая в науке, ограничена теми пределами, которые обусловлены термодинамическим полем устойчивости организмов, в общем приблизительно отвечающим термодинамическим условиям современной земной поверхности.

Мы должны признавать, что в условиях температур (и давления), при которых жизнь наших организмов возможна, если эти условия существовали и в космические периоды на земной поверхности, жизни на Земле в нашем ее понимании тоща не было. Она могла на ней появиться, как только температура, давление, химическая обстановка стали отвечать необходимым для жизни изучаемых нами организмов условиям. Но как появились на Земле тогда эти организмы, раз мы признаем для них только одну форму их зарождения — форму, установленную принципом Реди?

Логически правильный ответ на этот вопрос был дан в начале XIX столетия, более ста лет тому назад. В это время окончательно утвердилось убеждение в представлениях человечества, что Земля находится в постоянном материальном общении и обмене с космическим пространством, в частности, что в нее постоянно приходят, ею притягиваются из небесных пространств мелкие и крупные тельца. Благодаря Хладни (E. Chladni, 1756–1827) было окончательно доказано космическое происхождение падающих на Землю пыли и камней — метеоритов или аэролитов. В связи с этим открытием у разных лиц явилось представление о заносе этим путем жизни на Землю в виде мельчайших спор или организмов из космической среды, из других миров. В первые годы XIX столетия эта идея исходила из среды, мало влиявшей на научную мысль; она была связана с идеями натуралистов, занимавшихся или философскими, или космогоническими вопросами; у них она терялась среди тех неясных, туманных и фантастических построений, какими так богата литература естествознания первой половины XIX столетия.

Эти идеи мы находим у Груйтгуйзена (F. Paula Gruithuisen, 1774–1842), Гюйона Монливо (E. Guyon de Montlivault, 1765–1846)[1] и, вероятно, найдем у многих других в забытых в наших библиотеках произведениях литературы этого рода. Эти указания имеют для нас значение как документы, утверждающие существование подобных идей в научной среде того времени. В широкой научной среде эти идеи обратили на себя внимание лишь после 1865 г., когда их выдвинул широко образованный, разносторонний ученый и общественный деятель, выдающийся врач в Дрездене Г.Э. Рихтер (H.E. Richter, 1808–1876), связавший их с идеей о *вечности жизни в Космосе.* Рихтер, считая жизнь не земным, а космическим явлением, признавал ее вечность и полагал, что в то время, когда она не существо-

[1] Искавшего начало жизни на Луне.

вала в земных условиях, она существовала в аналогичных условиях в других мирах. Зародыши жизни в латентном состоянии носятся в небесных пространствах и могут попадать с метеоритами и метеорной пылью на Землю и другие планеты и давать начало жизни. По Рихтеру, эти микрозои (космозои Прейера) являются проявлением вечной мировой жизни. Omne vivum ab aeternitate e cellula — все живое от вечности происходит из клетки, утверждал Рихтер. Работы Рихтера (1865–1871) прошли незамеченными, но, незная о его идеях, в один и тот же 1871 г. два величайших ученых XIX столетия независимо от Рихтера и друг от друга выдвинули то же самое представление о заносе жизни на Землю метеоритами как противовес теориям археогенеза. Это был в Германии Гельмгольц (H. Helmholtz, 1821–1894) и в Англии Томсон Кельвин (W.Thomson Kelwin, 1824–1907). Оба они высказали эти идеи в публичных речах, связали с представлением о вечности жизни. На мысли Рихтера обратил внимание в то же время В. Прейер.

Но эти идеи не оказали большого влияния на научную мысль, ибо хотя возможность занесения этим путем жизни и неоспорима, но существование такого занесения не было нигде и никогда научно установлено. Микрозои, если они есть в небесных пространствах и если они попадают в земную атмосферу, не могут быть генетически связаны с метеоритами и известной нам космической пылью. Ибо в структуре пыли и метеоритах мы никогда и нигде не видим проявления и влияния жизни. Изучение их указывает на условия их образования, аналогичные нашим самым глубинным породам, возникающим при высоком давлении и высокой температуре, или на выделение их при химических процессах из жидкостей и газов, связанных тоже с высокой температурой (хондры, молдавиты). Микрозои могут быть к ним примешаны случайно, с ними прямо не связаны, от них независимы.

Уже в XX в. близкие, но несколько иные идеи пытался развить в новой космогонической картине шведский физик Аррениус (S.A. Arrhenius, 1859–1927). Он указал на возможность переноса мельчайших организмов определенного размера излучениями небесных светил благодаря оказываемому этими радиациями давлению на материальную среду. Попадая на Землю, они должны медленно проникать в нашу атмосферу, находясь во взвешенном состоянии, и в конце концов будут смешиваться с той пыльной атмосферой, которая окружает наш земной шар в нижних частях его газовой оболочки.

Не буду здесь дольше вдаваться в рассмотрение этих возможностей. Несомненно, мы имеем здесь область, доступную точному научному изучению, но пока им слишком мало затронутую. «Космическая пыль», постоянно падающая и, может быть, в очень большом количестве, остается без изучения, и лишь временами к ней обращается научная мысль. Пока характер этого процесса не будет научно выяснен и подвергнут систематическому долголетнему научному изучению, мы не выйдем здесь на дорогу реальных фактов из области возможностей, в которой сейчас находимся.

Это изучение сейчас выдвигается на очередь. Ибо все больше и больше явлений заставляет обратить внимание на эту сторону космоса. С разных сторон скопляются данные, создающие чрезвычайно благоприятную обстановку для объяс-

нения начала жизни на Земле этим путем. Для нас становится ясным, что жизнь есть явление космическое, а не специально земное. Мы теперь знаем, что материально Земля и другие планеты не уединены, а находятся в общении. Космическое вещество постоянно ж разных формах попадает на Землю, и земное уходит в космическое пространство. Живое вещество дает на нашей планете одно из самых тончайших, а может быть, самое тончайшее дробление материи, сохраняющее свою отдельность в твердом или жидком состоянии, а потому оно может проникать всюду — уходить и из земного притяжения. А жизнь в-латентном состоянии — в спорах, семенах или цистах — может сохраняться неопределенное время, возможно, и геологические века, если верны те наблюдения, которые сейчас указываются, например, в работах Галиппа и др. (1920 г. и сл.). Возможность такой сохранности жизни, почти безграничной, мы сейчас научно отрицать не можем.

Но и без такого изучения сейчас ясно, что никакой логической необходимости признания археогенеза нет для объяснения начала жизни на Земле, в космические периоды истории которой жизнь отсутствовала.

Если даже, что кажется верным, в космические периоды на Земле не мог идти биогенез и наблюдаемая на ней его непрерывность с архейской эры должна была одно время прерваться, жизнь могла проникнуть на Землю извне. В действительности биогенез в земной жизни идет все же «от вечности», как это указал Рихтер.

VI

Но натуралисты ставили логическую необходимость абиогенеза или археогенеза и из других соображений.

Нельзя отрицать, что это представление имеет очень глубокие корни в нашем научном мировоззрении. На это указывает его постоянное возрождение, несмотря на постоянное опровержение точным опытом и наблюдением, как мы видели, на протяжении всей истории научной мысли. Идея начала жизни связана с идеей о начале мира, она проникла в научное мировоззрение нашего времени извне, из философских или религиозных космогоний. Не только еврейско-христианская мысль, но, кажется, все сменявшиеся религиозные построения не могли обойтись без идей о начале и конце мира, о создании его божеством; для многих из этих представлений ставился и вопрос о начале божественных проявлений в космосе. Можно проследить тесную генетическую связь идеи о необходимости и неизбежности начала жизни и живого, столь ярко развитую в науке, с этими седыми созданиями далекой древности наших рас. Ученые XVII–XX вв. нелегко могут быть свободны от окружающей и охватывающей их духовной атмосферы, созданной поколениями предков. Поэтому им так трудно примириться с тем результатом отсутствия начала жизни вне живого, какой получается в эти века при научном подходе к данному вопросу.

То, что нам кажется таким странным, должно казаться совсем простым для ученых, далеких от духовной среды, бессознательно проникнутой традицией религиозных или философских навыков, связанных с идеей о начале мира. В об-

ласти индийских, в частности буддийских, построений религиозного осознания мира мы не имеем вопроса о начале мира. Для людей, сросшихся с этой духовной атмосферой, вопрос о начале мира или жизни не будет казаться неизбежным. Извечное существование живого будет для них более понятным, чем его появление во времени.

Для европейской научной мысли мы в других вопросах, связанных, например, с материей, энергией, эфиром, давно уже отошли от сознания логической необходимости ставить вопрос об их начале. Для них мы приняли бесконечность во времени. Вероятно, примем такую же безначальность и для жизни, живого вещества в форме организмов, примем и безначальность мира. Глубокий кризис, сейчас переживаемый, в понимании идеи *времени* еще более оттеняет необходимость критического отношения к этим не исшедшим из фактов природы положениям.

Но, помимо этих ясно извне пришедших в науку представлений, идея археогенеза или абиогенеза поддерживается сейчас еще двумя течениями мысли, анализ которых тоже указывает на их более тесную связь не с наукой, а с другими сторонами духовного творчества человека.

Необходимость *начала* жизни, во-первых, указывается как логическая предпосылка эволюционного процесса. Во-вторых, необходимость археогенеза или абиогенеза представляется неизбежным следствием отрицания для живых организмов особых, им только свойственных сил.

И то и другое, как мы знаем, связано с господствующим научным мировоззрением нашего времени, его проникает.

Я не могу здесь останавливаться сколько-нибудь подробно на анализе этих выводов и ограничусь немногими замечаниями.

Несомненно, отказ от абиогенеза (археогенеза) и замена его представлением об извечности жизни и живого в той форме, какую мы изучаем в биологии, не являются безразличными и для эволюционной теории, и для авиталистического представления о живом организме. Но в этом и его значение, ибо оно в связи с этим должно служить плодотворным источником и научной работы, и углубления в понимании наших теоретических представлений. Мы не должны забывать, что представление о вечности жизни (omne vivum ab aeternitate e cellula Рихтера) более отвечает научным фактам, чем представление об абиогенезе, которое им противоречит и основано на вере.

Если абиогенез логически связан со всеми эволюционными и авиталистическими теориями, тем важнее выяснить его противоречие с научно установляемою действительностью.

Указание на логическую необходимость признания *начала* для эволюционного процесса имеет скорее философский, чем научный, интерес. В конце концов мы так же мало можем говорить о начале, как и о конце эволюционного процесса. Ибо при непрерывности всего живого, неизбежности в нем биогенеза от архейской (и, несомненно, альгонкской) эры вплоть до настоящего времени на всем его протяжении эволюционный процесс представляет не что иное, как различное проявление одного и того же субстрата — единой жизни в течение геологическо-

го времени при меняющихся условиях связанной с ним земной среды. Необходимость начала для эволюционного процесса в этом понимании его отсутствует; она появляется лишь тогда, когда мы начинаем схематизировать эволюцию, что часто делают, и забываем, что эволюционный процесс для натуралиста основан на фактах наблюдения или опыта. А в числе этих фактов неизбежно находится постоянно происходящий в нем биогенез, согласно принципу Реди. В понятие эволюционной теории происхождения животных и растительных видов входит уже биогенез; предположение о его отсутствии в той или иной стадии эволюции разрывает с фактами, является экстраполяцией. Архео- генезу в эволюционном процессе — в области точного наблюдения, на котором он основан, нет места.

Гораздо глубже противоречие вечности живого и отсутствия археогенеза с тем представлением о живом, которое охватило научную мысль в более чистой форме со второй половины XIX столетия. Огромные успехи достигнуты были в науке о жизни за последние 50–70 лет, когда биологи, особенно физиологи, стали изучать явления жизни, оставив в стороне всякие объяснения этих явлений особой жизненной силой, пытаясь подвести все их, так или иначе под известные нам силы и явления физики и химии. Для последовательного натуралиста это только *метод работы.* Он исходил из известного и исследовал, достаточно ли оно для полного объяснения жизни живого, или окажутся такие явления, которые заставят его признавать в организме особые, ненаблюдаемые в мертвой материи силы. Оставаясь на почве научного исследования, он не считал решенным вопрос о том, сводимы ли все проявления живого организма к материи и энергии (или на известные нам формы энергии) или нет. Он это только испытывал. Когда же он утверждал, что в организме *нет* никаких других форм энергии, кроме тех, которые наблюдаются во всякой косной материи, или что ничего, кроме энергии и материи, в нем нет, он это утверждал не как ученый, а как философ. В лучшем случае он высказывал научную гипотезу, которая никогда до сих пор доказана не была.

Это необходимо иметь в виду, ибо признание извечности жизни как будто указывает на какое-то *коренное различие* живого и мертвого, а это различие должно или свестись к какому-то различию материи или энергии, находящихся в живом организме, по сравнению с теми их формами, какие изучаются в физике и химии, т.е. в обычной косной, безжизненной материи, или оно указывает на недостаточность наших обычных представлений о материи и энергии, выведенных из изучения косной природы, для объяснения всех процессов живого...

Мы знаем, что сейчас научная мысль подходит вновь к критике этих авиталистических представлений из других соображений: испытанный метод работы — сведение в организме всего, что только свести возможно, к физике и химии мертвой среды — остается, но толкование, что этим путем можно понять *все* составляющее живой организм, становится все более и более сомнительным. Возрождение разных форм виталистических и энергетических гипотез жизни является в данном случае проявлением научного критицизма. Оно является реакцией против незаконно охватившего науку философского представления, ей чуждого. К тому же это философское построение связано с тем философским течением,

которое было живым в конце XVIII, середине XIX в. и которое в тех проявлениях, в каких оно выражается в науке, является историческим пережитком в современной философии. Живого, отвечающего ему течения мысли в современной философии, находящейся сейчас в бурном движении, нет. Это и понятно, так как философия всегда в своих живых течениях тесно связана с исканиями научной мысли, а старое представление о материи, лежащее в основе старых материалистических систем философии, отвечает научным оней представлениям XVII–XIX вв. и противоречит той коренной ломке ее понимания, к которой подошла наука XX столетия.

Понятно поэтому, какое малое значение может иметь для современного натуралиста логическая неизбежность признания абиогенеза, связанная с чуждыми науке, проникающими пока ее философскими представлениями. Идеи вечности и безначальности жизни, тесно связанные с ее организованностью, есть то течение научной мысли, последовательное проявление которого открывает перед научным творчеством широчайшие горизонты. К той формулировке этой идеи, которую дал Рихтер, мы сейчас должны только добавить, что принцип Реди имеет приложение и к клетке, к ее мельчайшим организованным элементам, и что, может быть, клетка не является единым, всеобщим элементом живого вещества.

Идея вечности и безначальности жизни, и помимо ее космических представлений, давно проникает научное мировоззрение отдельных натуралистов. Ее история в прошлом нами не осознана и не написана. Ее касаться здесь я не имею возможности. Но сейчас эта идея получает в науке особое значение, так как наступил момент истории мысли, когда она выдвигается вперед как важная и глубокая основа слагающегося нового научного мировоззрения будущего.

К ПРОБЛЕМЕ РАЗЛОЖЕНИЯ КАОЛИНА ОРГАНИЗМАМИ[1]

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. Ирвином[2], 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 $H_2Al_2Si_20_8$, 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 $H_2Al_2Si_20_8$ (полевые шпаты, лейцит, слюды, цеолиты, эпидоты, нефелин, гранаты и т.д.), превращаются под их действием в каолин $H_2Al_2Si_20_8 \cdot H_20$.

Это ядро сохраняется при многих наших синтезах и химических опытах, затрагивающих эти минералы.

Ядро $H_2Al_2Si_20_8$ 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 $C0_2$ организмами, имеющими хлорофилл.

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.

---

[1] Опубликовано как Sur le problème de la décomposition du kaolin par les organismes // Comptes rendus Acad. Sci., Paris, 175, 1922, 450-452. Перевод с французского М. А. Драгомировой. Печатается по изданию: В. И. Вернадский. Избранные сочинения. Т. 5— М.: Изд-во АН СССР, 1960. 672 с. 118-119.

[2] J. Murray a. R. Irvin, Proc. roy. soc. Edin., 18, 1891, 245.

Эти воды содержат большое количество диатомовых (изученных А.Б. Миссуной) и бактерий, которые обычно сопровождают диатомовых в природе и образуют с ними, может быть, симбиоз[1]. 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 $H_2Al_2Si_2O_8 \cdot H_20$. 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.

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.

---

[1] Образование свободного гидрата алюминия в почвах наших широт было констатировано давно, в первой половине XIX века. К. Шпренгелем.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА В СВЯЗИ С ХИМИЕЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ[1, 2]

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, живое вещество, как я буду его называть. Мы не можем понять этого процесса, не принимая во внимание существования на земной поверхности организмов. Уже давно, около 100 лет тому 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[3] из числа известных, химически отличающихся различных систем атомов, для 50–60 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 итти 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

---

[1] Лекция, прочитанная в Петрограде 12 марта 1922 г., а затем в Праге в Карловом университете (по-русски) в том же году. Напечатана: «Химический состав живого вещества», 12°, П. 1922 («Время»), Опущено предисловие, прочитанное в Праге. Есть чешский перевод.

[2] Печатается по изданию Биохимические очерки. М. 1940

[3] По новым данным 1936 г.

формах, в каких они рисуются биологам. Геохимик должен снести организмы к тем формам нахождения химических элементов, с которыми он имеет дело и 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 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 недоразумений, 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 энергии.[2] 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

---

[1] Сейчас (1936 г.) надо, помимо веса, химического состава и энергии, принимать но внимание характер пространства, занятого неделимым (диссимметрия —см. ниже стр. 184, 201).

[2] И характеру пространства.

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 дроби 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, проявляющиеся 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 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 нахождений 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 оконча-

тельный 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. Повидимому, 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 указании, приходится признать, что по крайней мере около 60[1] химических элементов констатировано во всех организмах. Это будут, кроме циклических элементов (указанных выше), которые, несомненно, находились во всяком организме, в котором их искали, напр. еще следующие: Ce, Be, 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 элементов,[2] проникающих всю земную материю, находимых по всяком теле, где их ищут. Это так называемые элементы рассеяния. Надо 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 Ce 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 обусловливают 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 Л. 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.

---

[1] Цифра 1936 г.

[2] О разном характере химических элементов п земной коро см. мою статью «Химические элементы и механизм земном коры» [2, стр. 31] и [1, стр. 184].

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 обусловливалась 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 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. 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 итти, 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 средних для него чисел, полученных из измерении 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 °C (не говоря уже об определениях, делаемых, как ото 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 N 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, ка́к 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 $m \cdot 10^{-2}$ %. Эта небольшая дробь является огромной массой вещества — миллионы тонн вещества, которое находится в постоянном и непрерывном изменении, постепенно отдавая окружающей среде в новой форме изъятую 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 с 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 изменяв их более новыми данными (табл. 1).

Таблица 1

Состав человека

Декады	Весовые %%	Название элементов
I	>10	O(65.04%), C(18.25), H(10.05),
II	10°	N(2.65), Ca (1.4)
III	10^{-1}	P($8\cdot10^{-1}$), K($2.7\cdot10^{-1}$), Na($2.6\cdot10^{-1}$) Cl ($2.5\cdot10^{-1}$), S($2.1\cdot10^{-1}$),
IV	10^{-2}	Mg($4\cdot10^{-2}$), Fe($2\cdot10^{-2}$)
V	10^{-3}	Zn($n\cdot10^{-3}$), Si($n\cdot10^{-3}$)
VI	10^{-4}	Al ($n\cdot10^{-4}$), Br($n\cdot10^{-4}$), Cu($n\cdot10^{-4}$) F($n\cdot10^{-4}$), Mn($n\cdot10^{-4}$)
VI-VII	10^{-5}–10^{-6}	As, J, B, Pb, Ti — от $n\cdot10^{-5}$ до $n\cdot10^{-6}$

Другие элементы встречаются или в меньшем количестве, или не дозволяют 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. с. по рядам, которые, если не 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).

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 обусловливает 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 земными хлорофиллсодержащими организмами во время синтеза ими органического вещества. В то же время есть тысячи химических реакции, 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.

Таблица 2

Декады	Весовые %%	Название элементов
		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}	Mn(0.1%), Cl(0.2%) S(0.15%), P(0.1%)
IV	10^{-2}–10^{-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, Se Ar, W, Cs, Bi, Cd, 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

Продолжение таблицы 2

Декады	Весовые %%	Название элементов
		Гидросфера
I	10^{1}	O, H
II	10^{0}	Cl, Na
III	10^{-1}	Mg, S
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
XII	10^{-9}	Ag
XIV	10^{-10}	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, J
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, J, Ge
VIII	10^{-6}	Pb
	10^{-7}	
	10^{-8}	Hg
	10^{-9}	Ag
	10^{-10}	Au
	10^{-12}	Ra

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 различения 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 но 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 представленне о составе живого вещества в связи с теми делениями его на расы, виды, роды, семейства и т. д., к которым пришли морфологи. Эти группы, невидимому, 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 всякой 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 им* и, наконец, обычные. Между этими группами, невидимому, 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 (см. табл. 3).

Я не буду останавливаться на выводах из этой таблицы; скажу лишь несколько слов. Мы видим, что пока известны следующие (заключающие больше 10% какого-нибудь элемента, помимо кислорода и водорода, которые в среднем всегда содержатся в таких количествах) организмы:

кремниевые	магниевые	стронциевые
алюминиевые	бариевые	фосфорные
железные	марганцевые	углеродные
кальциевые	серные,	

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, AI, 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, AI? Fe, Ca, Mg, Ba, Mn? S, Sr, P?
II. C, N. Si, AI, Fe, Mg, K, Na, Cl, Zn, P, Br, J, Mn, S, V, Cu[1]

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, нефтей, 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:

	Живое вещество	Вода морская
Si	$n\cdot10^{-1}$ до $n\cdot10^{-3}$%	$n\cdot10^{-5}$%
Al	$n\cdot10^{-1}$ » $n\cdot10^{-3}$%	$n\cdot10^{-4}$ до $n\cdot10^{-6}$%
Fe	$n\cdot10^{-1}$ » $n\cdot10^{-2}$% и выше	$n\cdot10^{-6}$%
Ca	$n\cdot10^{-1}$ » $n\cdot10^{-2}$%	$n\cdot10^{-2}$%
K	$n\cdot10^{-1}$ » $n\cdot10^{-2}$%	$n\cdot10^{-2}$%
P	$n\cdot10^{-3}$ » $n\cdot10^{-1}$%	$n\cdot10^{-6}$%

[1] Приведены лишь отдельные примеры.

Несомненно, для некоторых элементов, как Gl, 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 собою, но кажущихся нам закономерными, какими 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 механизм,[1] связанный с характером составляющих ее атомов; ее состав обусловлен не чисто геологическими причинами. В этом механизме живое вещество играет огромную роль. Оно, держа в своем составе в каждый момент некоторое определенное количество атомов, порядка n–10^{-2}% 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 $n \cdot 10^{-1}$% 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 авто-

---

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

номного — 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 коре.[1]

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.

Таблица 3

Содержание химических элементов в организмах	Примеры организмов	Примечания
I. Кремний.		
1. Кремниевые организмы — анализов мало. Более 10% Si.	Диатомеи, например Chaetoceros, Rhizosoieniae и др. SilicoFlagellatae (например Dictyochae), Heliozoa, некоторые кремниевые Clathrulina) и песчаные Foraminifera (например Polymorphina silicea, Rhabdammina). Кремниевые губки. Ферробактерии (?). Радиолярии.	
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). Cyperaceae и м ногие 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 $6.3 \cdot 10^{-1}\%$ Si. Позвоночные организмы, например овца — $9 \cdot 10^{-3}\%$ Si.	
II. Алюминий.		
1. Алюминиевые организмы.	Crenothrix ochracea—17.7% Al.	Если верны анализы Джаксона, Crenothrix должна быть отнесена сюда.
2. Богатые алюминием организмы. До 2% Al.	*Lycopodiaceae.* Водоросли. Некоторые Proteaceae? (Oritis excelsa) и многие гидрофиты и водные растения.	
2. 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 Haplophragmium latidorsatum до 11.4% Fe). Некоторые Desmidiaceae. Некоторые водоросли из Conferva, Oedogoniaceae.	Может быть, помимо железобактерий, некоторые другие бактерии. Может быть, некоторые инфузории.

[1] Правильнее в биосфере.

Продолжение таблицы 3

Содержание химических элементов в организмах	Примеры организмов	Примечания
2. Богатые железом организмы.	Некоторые лишайники; *Trapa natans*; многие водные растения.	
3. Обычные организмы $n\cdot10^{1} – n\cdot10^{-3}$% Fe.	Большинство семян. Овца, бык, мышь до $n\cdot10^{-2}$% Fe; водоросли — $n\cdot10^{-2}$% и многие другие организмы.	
IV. Кальций.		
1. Кальциевые организмы. Содержание Ca доходит до 37-38% и, может быть, даже больше	Многочисленные и разнообразные водоросли: *Coccolithophoridae, Chroococcaceae* (например *Gloeocapsa*). *Characeae, Dasycladaceae, Dictyotales, Corallinaceae, Oscillatoriaceae, Rivulariaceae, Oedogoniaceae, Codiaceae (например Halimeda), Lithothamnium* и т. д. Mollusca, Foraminiferae, Brachiopoda. Некоторые Crustacea (например Cypris). Трубочки некоторых Annelidae (например *Serpulo*). *Echinodermata, Bryozoa, Anthozoa. Некоторые бактерии* (*Bacterium calcis*).	Может быть, помимо железобактерий, некоторые другие бактерии. Может быть, некоторые инфузории.
2. Богатые кальцием организмы. До 25% Ca (бык —1.15% Ca)	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 $n\cdot10^{1} – n\cdot10^{-2}$% Ca.	Разнообразные представители флоры и фауны из разных классов.	Есть, невидимому, 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 Annclidae (Serpula). Некоторые Coelenteratae, например Alcyonaria. Большинство Echinodermata. Некоторые Porifera (Calcareae). Foraminifera.	
3. Обычные организмы $n\cdot10^{2} – n\cdot10^{-1}$% Mg.	Большинство растительных организмов— 10^{-1}% Mg.	Магниевых и богатых магнием наземных организмов не было найдено. Как будто есть группа очень бедных магнием организмов (шляпочные грибы, некоторые лишайники — *Cladonia rangifera*, заключающие его следы).

Продолжение таблицы 3

Содержание химических элементов в организмах	Примеры организмов	Примечания
VI. Калий.		
1. Богатые магнием организмы. До 3% на живое вещество.	Некоторые гигантские водоросли (например *Nereocystis, Pelagophycus*). Относительно высоко содержание калия в некоторых наземных растениях, например *Setaria germanica*, *Senecio vulgaris*, *Spartium scoparium*, *Senecio Jacobea*, *Lactuca sativa*, *Achillea millefolium* и т. д.	
3. Обычные организмы $n\cdot10^{1} – n\cdot10^{-2}$% K.	Большинство растительных организмов и животных организмов	
VII. Натрий.		
1. Богатые натрием организмы. Около 1% натрия?	Большинство морских водорослей: *Fucus*, *Laminaria* и др. Флора солончаков (*Salsola*, *Salicornia herbacca*, *Plantago maritima* и многие другие галофиты).	
2. Обычные организмы $n\cdot10^{1} — n\cdot10^{-3}$% K.	Большинство других растений и животных.	
VIII. Хлор.		
1. Богатые хлором организмы. Около 1% хлора.	Галофиты морских берегов: Chenopodiaceae, Frankeniaceae, Plumbaiginaceae, Arenaria media. Особенно Salsola kali, Salicornia herbacea.	
2. Обычные организмы $n\cdot10^{2} – n\cdot10^{-3}$% Cl.	Все другие организмы.	
IX. Азот.		
1. Бедные азотом организмы.		Точно так же, как для углерода, и здесь можно выделить бедные азотом организмы, например все богатые водой (до 99%) морские организмы. Бедны азотом наземные растения, заключающие в общем $n\cdot10^{3}$% N. Есть указания на азотные организмы, например нитробактерии (Осборн). К сожалению, фактических доказательств в анализах мы не имеем.
2. Обычные организмы.		
X. Барий		
1. Бариевые организмы.	Корненожки из *Xenophyophora*	В большинстве организмов барий находится в следах.

Продолжение таблицы 3

Содержание химических элементов в организмах	Примеры организмов	Примечания
2. Обычные организмы.	Некоторые губки: из *Cornucospongidae*, (например *Euspongia*), может быть некоторые *Alcyonariae*, например *Gorgoniidae*).	
XI. Бром.		
1. Богатые бромом организмы? Может быть, процентное содержание Br не дойдет до 1%?		
2. Обычные организмы $n\cdot10^{1} – n\cdot10^{-3}$% Br.	Морские водоросли, морские животные	
XII. Иод.		
1. Богатые иодом организмы. Около 1% иода.	Некоторые тропические губки: из *Cornucospongidae*, например *Euspongiae*, *Hippospongia.* Некоторые *Alcyonariae*, например *Gorgonia Cavolini* и др.). В красных водорослях—*Phylophora* и др.	
2. Обычные организмы. Наземные $n\cdot10^{4} – n\cdot10^{-6}$% J. Морские $n\cdot10^{3} – n\cdot10^{-5}$% J	Большинство растений и животных	
XIII. Марганец.		
1. Марганцевые организмы?	Некоторые *Leplolhrix*, некоторые диатомовые (из *Cocconeis*).	Повидимому, сюда относятся некоторые из железобактерий.
2. Богатые марганцем организмы. До 1% Mn.	Некоторые ржавчинные грибы (*Seeale cornutum), Zostera maritima, Trapa natans* и многие водные растения, например *Lemnae* и т. д.	
3. Обычные организмы. Растения $n\cdot10^{1} – n\cdot10^{-2}$% Mn. Животные $n\cdot10^{4}$ Mn.	Большинство растений и животных	
XIV. Сера.		
1. Серные организмы.	Некоторые из серных бактерий, выделяющих самородную серу.	
2. Обычные организмы. Растения $n\cdot10^{1} – n\cdot10^{-2}$% S. Животные $n\cdot10^{1}$ S?	Большинство растений и животных.	
XV. Стронций.		
1. Стронциевые организмы.	Некоторые из радиолярий (из Acantharia, Podactinellius sessilis).	
2. Обычные организмы.		
XVI. Цинк.		
1. Богатые цинком организмы. Около 1% цинка.	Микрофлора около цинковых источников (например *Sterigmatocytes niger*). Очень богатые ($n\cdot10^{1}$ Zn): *Thlaspi calaminaria*, *Armeria vulgaris* и т. д.	Много цинка в растениях на галмейных почвах, в частности в так называемой галмейной флоре.

Продолжение таблицы 3

Содержание химических элементов в организмах	Примеры организмов	Примечания
2. Обычные организмы. Растения $n \cdot 10^3$ — $n \cdot 10^{-4}$% Zn. Животные $n \cdot 10^3$— $n \cdot 10^4$% Zn		
XVII. Фосфор.		
1. Фосфорные организмы.		Может быть, сюда надо выделить некоторые из организмов, вроде *Lingula*, скелет раковины которых состоит из фосфата $3Ca_3P_2O_8 \cdot Ca\,(Cl,F)_2$?
2. Богатые фосфором организмы. Около 1% P.	Дрожжи. Некоторые трубки *Annelidae* (*Onuphis* и т. д.). Все позвоночные. Некоторые мелкие *Copepoda* и т. д.	
2. Обычные организмы. Растения $n \cdot 10^3$ — $n \cdot 10^{-1}$% P. Животные $n \cdot 10^1$% P	Все остальные организмы.	
XVIII. Углерод.		
1. Углеродные организмы.	Особенно многие наземные растения, бедные водой.	
2. Обычные организмы. Более 1% C.		
2. Бедные углеродом.	Например многие водные организмы планктона, заключающие до 99.7% H_20.	

О НИКЕЛЕ И КОБАЛЬТЕ В БИОСФЕРЕ[1]

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 количество[2].

Присутствие никеля и кобальта было установлено впервые в поверхностных слоях Земли в 1854 г. датским натуралистом И. Форхгаммером[3]. В 1870—1890 гг. 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 присутствия.

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: Mg, Fe, Си, 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 животного 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.

---

[1] Sur le nickel et le cobalt dans la biosphère. Comptes rendus Acad. Sci., Paris, 175, 1922, 382-335. Перевод с французского М. А. Драгомировой. Печатается по изданию: Избранные сочинения /В. И. Вернадский. — М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. С. 115-117.

[2] G. Bertrand et Mokragnatz, Comptes rendus, 175, 1922, 113—114.

[3] J. Forchhammer, Ann. Phys., 95, 1855, 73 сл.

Этот ряд, базирующийся на минералогических данных, содержит в себе следующие элементы[1]: Mg, Fe, Zn, Cи, Mn, Ni, Co, Cd, может быть In.

Ни для индия[2], ни для кадмия мы не располагаем каким-нибудь наблюдением, обнаруживающим их присутствие в организмах.

Что касается индия, то, принимая во внимание его исключительную роль в истории земной коры[3], 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. Форхгаммером[4].

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 установлено[5].

Принимая во внимание указанные выше соображения, я начал в Киеве в 1918–1919 г. (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. Чугаева — диметилглиоксим.

Присутствие никеля и кобальта могло быть установлено количественно в

---

[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, Sr, 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 елементов, образуя молекулы (химические соединения) только в исключительних случаях и иногда совсем их не образуя в определенных термодинамических полях земной коры. Об этой группе из 10 химических элементов (все с нечетным числом) см. Мою статью в «Природе», 1922; ср. также The Nature, 110, №3—5, 1922.

[3] Об истории индия в земной коре см. В. И. Вернадский, Бюлл. Акад. Наук СПб., 1911, 187.

[4] J. Forchhammer, Ann. Phys., 95, 1855, 90, oversight at Danske Vidensk, Selsk. Forhandlingar, 1854, 1855, 398.

[5] J. G. Legrip. Ch. medic., 2 Sér., 7, 1841, 120; A. Chevallieret G. Cottereau, 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, Biochemie der Pflanzen, 2te Aufl., 2, Jena, 1920, 504.

растениях. Они были найдены во всех мхах, изученных в окрестностях Киева[1].

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 thyrsiflora* L.

Все эти растения брались целиком с их корнями и цветами, они собирались специально с этой целью, были взвешены и зола была собрана из большего количества экземпляров. Проф. В. Садиков (Институт радия Академии наук в Петрограде) нашел кобальт в *Echium vulgare* L. из Салгирки (Крым).

Опыты И. Д. Старынкевич доказали присутствие никеля (в следах) в золе домашних мышей.

[1] Виды были определены с большой точностью. Я не имею под рукой их названий.

ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО В ХИМИИ МОРЯ[1,2]

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]; см. ниже, стр. 219).

Хотя для меня совершенно ясно, что эти явления имеют огромный интерес с прикладной точки зрения, я оставлю 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 оставлю 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 со-

---

[1] Переработанная стенограмма доклада, сделанного в Химической секции Русского технического общества в Петрограде 8 марта 1922 г. См. «Живое вещество в химии моря», Петроград, Научно-химическо-техническое изд-во, 1923. Приняты во внимание изменения, внесенные во французскую переработку статьи, помещенную и «Revue générale des Sciences», P. 1924.

[2] Печатается по изданию: В. И. Вернадский. Биогеохимические очерки — М.Л.: Изд. АН СССР, 1940. С. 25-46.

ставляет 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 радиуса[1]. Но в этой земной коре мы 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. Всецело 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 км[2], 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 C. Claret de Fleurieu, 1738—1810 гг.) ввел в науку понятие об едином Великом Океане, охватывающем всю землю. Отдельные океаны он счел 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 $1.4\text{-}10^{18}$ 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 обусловливается не случайными геологическими или физикохимическими причинами, а обусловлен 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 пе-

---

[1] Не считая атмосферы.

[2] Новые данные — до 3.8 км.

риодической системы занимает первое (нечетное) место. По 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, 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 возможных[1].

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 Л. 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.

---

[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.

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 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 нацело 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 атомов.[1]

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 весовых %)[2]

O	85·80	N	$n\cdot10^{-5}$
H	10·67	Zn	$< 1\cdot10^{-5}$
Cl	2·00	Ba	$< n\cdot10^{-5}$
Na	1·07	Li	$7\cdot10^{-6}$
Mg	$1.4\cdot10^{-1}$	J	$5\cdot10^{-6}$
S	$9\cdot10^{-2}$	Fe	$5\cdot10^{-6}$
Ca	$4.5\cdot10^{-2}$	As	$3\cdot10^{-6}$
K	$3.8\cdot10^{-2}$	P	$5\cdot10^{-6}$
Br	$6.5\cdot10^{-3}$	Al	$< n\cdot10^{-6}$
C	$3.5\cdot10^{-3}$	Cu	$2\cdot10^{-6}$
Sr	$1\cdot10^{-3}$	Mn	$n\cdot10^{-6}$
B	$4.5\cdot10^{-4}$	Cs	$n\cdot10^{-7}$
F	$1\cdot10^{-4}$	Ag	$n\cdot10^{-9}$
Si	$2\cdot10^{-5}$	Au	$4\cdot10^{-10}$
Rb	$2\cdot10^{-5}$	Ra	$n\cdot10^{-14}$

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 любою 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 мор-

[1] Эта задача поставлена сейчас (1936) Биогеохимической лабораторией Академии Наук.

[2] Из этого состава исключены: 1) все взмученные частицы, удерживаемые фильтрами, 2) псе организмы, удерживаемые фильтрами, 3) большая часть газо.ч, 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.

ские 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:

Средний состав живого вещества[1]

Декады	Весовые %%	Элементы
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, Ba, Br, Li
VII	10^{-5}	Ag, F, Rb, Sn, Ni, As, Mo, Co, J, Ge
VIII	10^{-6}	Pb
IX	10^{-7}	—
X	10^{-8}	Hg
XI	10^{-9}	Ag
XII	10^{-10}	Au
XIV	10^{-14}	Ra

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), т. е. 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

[1] По новым данным 1936 г.

(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 пресноводно-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 »	Fe	» 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 Br (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 обусловливается 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 взаимодействии 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. стр. 20 и сл.).

Круговые процессы доказаны, как характерная форма нахояждения, для элементов: Ag, Al, As, B, Ba, C, Ca, Cl, Cu, 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. Но втором случае, источников 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 .другил 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 ми имеем дело с формой проявления космической лучистой энергии Солнца.

Захватывая энергию Солнца, живое существо создает химические соединения, при распадании 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 $n \cdot 10^{-2}$ — $n \cdot 10^{-10}$% веса земной коры мощностью в 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, и их вес выражается еще меньшей дробью: $n \cdot 10^{-3}$ — $n \cdot 10^{-40}$% 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 значительно[1], 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 обусловливается его в нем нахождением.

Я употребляю и здесь и раньше слово «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

[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.

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 гещества, 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 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 пере-

полнено 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, 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

A. Вещество приносится в море из суши и атмосферы		B. Вещество уносится из моря на сушу и в атмосферу
1. Осадки — дождь и снег	приносят пыль; осадки несут вещества в растворе	1. Испарение воды, уносящее не только воду, но и NaCl и т. д.[1]
2. Ветер		2. Ветер и брызги
3. Организмы суши		3. Морские нерастворимые осадки, создающие дно
4. Растворение океаном берегов и дна		4. Газовый обмен, уход газов при изменении температуры и давления
5. Космические пыль и газ		5. Переходы морских организмов на сушу
6. Реки, приносящие в океан огромные количества вещества в растворе и в взмученном состоянии		6. Питание морскими организмами организмов суши
7. Поглощенно газов морской водой из атмосферы		7. Деятельность человека
8. Деятельность человека		
9. Вулканические извержения подводные и наземные[1]		

[1] 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. Повидимому, 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 физикогеографических 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 Ca, богаты Na. 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 1840х годах талантливый французский ученый Эмэ выявил своеобразную черту морской воды: вода берет газы атмосферы с поверхюсти 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 нею 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 — хлорофиллоноснымн — организмами, берущими его из углекислоты.

Уже из этого ясно регулирующее действие организмов — живой материи — на состав газов морской воды. Но надо итти дальше.

---

[1] На это явление впервые указал в 1812 г. Т. Томсон.

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 обусловливается 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 веществом[1]. Огромная часть углекислоты атмосферы имеет то же происхождение. Повиди- мому, 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 всмотримся 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 трупах, 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 оставляющее 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.

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

[1] В 1935 г. я показал, что сюда надо причислять и азот атмосферы, следовательно и океана (3].

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 веществом[1].

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. и.) мы видим большой процесс, может быть, много превышающей по своей значительности переход наземных животных в море.

Но не эти процессы являются господствующими, уравновешивающими привнос вещества в море реками. Такими процессами являются: 1) деятельность наземных животных, извлекающих пищу из моря, и 2) те процессы, которые переводят растворенные в океанический 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 итого 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; 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

[1] Очевидно, и вулканический материал, приносимый подводными и наземными вулканами. См. сноску на стр. 35.

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, повидимому, на второй план перед тем основным, 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 рек*[1] *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 жизни[2]. 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_2S0_4	0.09%
MgCl	0.41 »	$MgCl_2$	0,01»
$MgSO_4$	0.18»	$CaCO_3$	0.01»
$CaS0_4$	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 тем мы знаем, что выделение вещества из морской воды происходит постоянно и непре-

---

[1] Также вулканов. См. сноску на стр. 35.

[2] В приносе вулканов участие жизни есть, но сложное п отходит на дальний план.

рывно. 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 $CaS0_4 2 \cdot H_2 0$, 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 атмосферу.

Для того чтобы понять происходящий здесь процесс, сравним средний состав воды океана с 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	Находится в океане
$C0_3$	$96.13 \cdot 10^7$ т	$9.56 \cdot 10^{13}$ т
SO_4	$33 \cdot 20 \cdot 10^7$»	$355.3 \cdot 10^{13}$ »
	Приносится ежегодно реками	Находится в океане
Cl	$15.54 \cdot 10^7$»	$2552.8 \cdot 10^{13}$ »
Br	—	$8.6 \cdot 10^{13}$ »
$N0_3$	$2.46 \cdot 10^7$»	—
Na	$25.84 \cdot 10^7$»	$14130 \cdot 10^{13}$ »
K	$5.80 \cdot 10^7$»	$5108 \cdot 10^{13}$ »
Ca	$55.77 \cdot 10^7$»	$5528 \cdot 10^{13}$ »
Mg	$9.33 \cdot 10^7$»	$172.10 \cdot 10^{13}$ »
$(AI, Fe)_2O_3$	$7.52 \cdot 10^7$»	—
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 $2 \cdot 10^{9}$ т 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 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:

Органич. вещ.	11.00%	Mg	3.05%
*$C0_3$	31 29»	Na	5.15»
*$S0_4$	10.81»	K	1.90»
Cl	5 07»	*$(Fe, Al)_2 03$	2.44 »
*NO_3	0.81»	*SiO_2.	10.32»
*Ca	18.15»		100.00%

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 значительно, 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 получаются совершенно необычайные комбинации химических элементов, обусловленные свойствами живых веществ. Живые организмы, переполняющие воду океана, проникающие ее всю, так же беспрерывно химически изменяют ее состав, как беспрерывно 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 и 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.

В виду 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 мыслью[1].

Но все же это факты. И, исходя из них, мы сейчас можем сделать некоторые выводы в интересующей нас области явлений.

---

[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 сознано, положение будет медленно улучшаться.

В океане мы имеем многочисленные, морфологически различные организмы, выполняющие различную химическую работу, извлекающие иг морской воды те или иные химические элементы в большем количестве, чем их извлекают другие организмы.

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 O и H: 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, AI, Fe, Mg, K, Na, Cl, Zn, P, Br, J, Mn, может быть, Cu и V.

Можно 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 нехватает 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 нерас-

творимое 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 и 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 в живой материи огромный путь изменений, прежде чем он не выйдет из морской воды в виде отложившихся на дне моря остатков кремниевых пли 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 мезозойской[1]. 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 коде; для них мы не имеем даже достаточно точных количественных определений, для алюминия особенно. Между том 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, ляминарии, 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 железа[2], покрывающих нередко огромные площади, например, в наших северных морях, Баренцевом 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, Haplophragmium и т. д. — ме-

[1] Сейчас с пермо-карбона.

[2] По видимому и хлоритов.

стами 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 в организмах, в среднем составе живого вещества. Мы видели, что в среднем количество его в живом веществе приближается к его соседнему 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 выявляется 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 водоросль, 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 живот-

ные 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 концентраторами являются прежде всего растительные организмы, большею 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 н 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 calcis и других, кишащих в воде теплых прибрежных морей и в открытом океане. На ряду 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 $CaC0_3$ (или другой соли Са) 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, AI, Ca, но это верно и для C, N, O, P. S. J. B, Mg, Мп, К 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 и мог бы закончить мое сообщение. Но я хочу еще несколько остановится 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 океанографии[1].

[Широкие планы возобновления работ экспедиции Чалленджера и систематического международного исследования Тихого океана, существовавшие в 1923 г., встретили препятствие в связи с экономическими и по-литическими трудно-

[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. 6.

стями жизни. И едва ли сейчас, в связи с длящимся с 1930 г. мировым кризисом, можно и;дать их сколько-нибудь мощного развития.

Но с 1923 г., когда была произнесена эта речь, совершенно изменились океанографические исследования в нашей стране. Проделана 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 итти 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.

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, повидимому, 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 K, Na, Cl, Br явно не верны. В международной комиссии для исследования моря цифра «Cl» не отвечает хлору химиков; в нее входит и Br, определений 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 настоятельного и тщательного изучения. Для натрия мы едва ли имеем два- три прямых и точных определения[1].

[1] Их больше, по все же положение знаний с 1923 г. существенно в этой области изменилось к лучшему очень недостаточно.

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 вещества[1]. 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] Для моря есть только для планктона (работа Биогеохимической лаборатории).

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ХИМИЧЕСКОМ СОСТАВЕ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА[1]

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 (Cl и F).

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. Акроид[2] указал на преимущества для некоторых задач выражать химический состав земного шара в процентном отношении атомов различных химических элементов. А. Ферсман[3] 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 геохимии[4].

Представляют химический состав *живой природы* и *живых организмов*[5] 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 — H, N, S и иногда P.

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.

---

[1] Статья опубликована на французском языке в 1924 г. в: C.r.Acad.sci.Vol.179. P. 1215-1217. Перевод Е.В. Соловьевой. Печатается по изданию: Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

[2] *Ackroyd W.* Af. // Chem. News. 1902. T. 86. P. 188.

[3] *Ферсман А.* Бюл. АН, СПб, 1912. С. 367.

[4] *Acton R.* Developpements nouveaux pour le globe terrestre // Nature. 1924. T. 113. P. 393.

[5] *Вернадский В.* // Геохимия. 1924. Aclan. С. 54 (на фр. языке – *Ред.*).

К сожалению, химические анализы, выполненные с этой точки зрения, являются очень редкими[1].

Однако можно представить химический состав живого вещества и живых организмов различными способами[2], из которых два, как кажется, имеют значение в настоящее время[3]. Его можно представить либо в процентах химических элементов (по весу), которые существуют в живом организме, либо в процентах их атомов в этом организме[4].

Наши знания об изотопах в организмах незначительны.

Приведем в качестве примера расчеты, которые относятся к двум резко различным случаям живого вещества: состав взрослого человека[5] и состав злакового (зерна Lolium emulentum)[6]:

Взрослый человек[7]

на 100 % (по весу)		на 100 % (в атомах)	
O	65,04 (62,81)	H	62,99 (60,796)
C	18,25 (19,37)	O	25,478 (25,635)
H	10,05(9,31)	C	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)
K	0,27 (0,22)	Na	0,070 (0,073)
Na	0,26 (0,26)	Cl	0,043 (0,029)
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		

---

[1] *Vernadsky W.* La composition chimique de la maliere vivante et de la chimie de l'ecorse terrestre // Rev. gen. sci. 1923. Vol. 34, N2. P. 46.

[2] Его можно представить еще в процентах от количества электронов, химических элементов вообще или в отношениях к существующим валентностям в живом веществе.

[3] Ср. *В. Садиков* и С. *Виноградов* в цит. выше работе. 1924. С. 390-391.

[4] 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.

[5] *Volkmann A.* // Bderichte d. Sachs. Ges. d. Wiss. Math. I'hys. ch. T. 26. 1874. P. 202; *Bouchard C. //* Comptes rendus. 1897. T. 124. P. 844; Bertrand G. //Bui. de la Societe scientifique d'llygiene alimentaire. 1920. T. 8. P. 49; *Vernadsky W. II* Rev. gen. sci. 1923. T. 34. P. 46.

[6] *Ramdohr 11* 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.

[7] Числа в скобках — это числа Г. Бертрана.

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	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.

[1] Включая ничтожные количества алюминия.

АВТОТРОФНОСТЬ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА[1]

I

В биосфере существует великая геологическая, быть может космическая, сила, планетное действие которой обычно не принимается во внимание в представлениях о космосе, представлениях научных или имеющих научную основу.

Эта сила, по-видимому, не есть проявление энергии или новая, особенная ее форма. Она не может быть, во всяком случае, просто и ясно выражена в форме известных нам видов энергии. Однако действие этой силы на течение земных энергетических явлений глубоко и сильно и должно, следовательно, иметь отражение, хотя и менее сильное, но несомненно и вне земной коры, в бытии самой планеты.

Эта сила есть разум человека, устремленная и организованная воля его, как существа общественного.

Проявление этой силы в окружающей среде явилось после мириадов веков выражением единства совокупности организмов — монолита жизни — «живого вещества», одной лишь частью которого является человечество.

Но в последние века человеческое общество все более выделяется по своему влиянию на среду, окружающую живое вещество. Это общество становится в биосфере, т.е. в верхней оболочке нашей планеты, единственным в своем роде агентом, могущество которого растет с ходом времени со все увеличивающейся быстротой. Оно одно изменяет новым образом и с возрастающей быстротой структуру самых основ биосферы.

Оно становится все более независимым от других форм жизни и эволюционирует к новому жизненному проявлению.

II

Человек, несомненно, неразрывно связан с живым веществом, с совокупностью организмов, одновременно с ним существующих или существовавших до него.

Прежде всего, он связан с ними своим происхождением.

Как бы далеко мы ни углубились в прошлое, мы можем быть уверенными, что встретим в нем живые поколения, несомненно генетически связанные одни с другими.

Мы, без сомнения, встретим в этом прошлом много более 10 000 последовательных поколений, от отца к сыну, вида *Homo sapiens*, которые по существу своему не отличаются от нас ни своим характером, ни своей внешностью, ни полетом мысли, ни силой чувств, ни интенсивностью душевной жизни. Более 200 поколений уже сменили друг друга со времени зарождения в человеческом обществе великих построений религии, философии и науки. Несколько сот поколений нас отделяет от эпохи, в которую появились первые зародыши человеческого ис-

---

[1] Первоначально эта статья была помещена на французском языке в «Revue générale des Sciences», P. 1925. Здесь изменена и напечатана не в полном виде. Главная мысль сохранена. Печатается по изданию —Биогеохимические очерки. М.; Л., 1940. С. 47–58.

кусства, музыки, мифов, магии, из которых выросли религия, наука, философия.

Но происхождение человека таится в еще более отдаленных глубинах времени. След предков теряется во мраке неизвестности. Их формы, их организмы были иные, чем наши, но главный факт — последовательная смена поколений, материально связанных, от отца к сыну — остался незыблемым. Наша связь с этими существами, на нас не похожими, самая реальная, какая только возможна. Их прошлое существование не есть фикция.

Как бы далеко наша мысль или наши научные исследования ни уходили в геологическое прошлое Земли, мы констатируем то же явление существования в земной коре единого целого жизни, ее непрерывного и единого проявления. Мы видим жизнь, которая извека в своих неделимых погасает и вновь сейчас же зажигается.

Около сотни поколений сменили друг друга с той поры, как мысль великих греков остановилась перед этим явлением, произведшим на нее впечатление самой глубокой космической тайны. Эта загадка осталась для нас, далеких потомков этих людей, одаренных могучей, проникающей мыслью, столь же неразрешенной, какой была для них.

Около десяти поколений до нас великий флорентийский натуралист Ф. Реди, врач, поэт, человек высокой духовной культуры, великий христианин, католик, первым высказал новую мысль, которая, вероятно, от времени до времени приходила в голову одиноким мыслителям прошлых поколений, но оставалась скрытой. Эта революционная идея была высказана, но не охватила умы людей того времени. Они, очевидно, не были подготовлены к ее восприятию. Ф. Реди утверждал: всякий живой организм происходит от другого живого же организма. Мысль эта была выражена этими словами другим итальянским натуралистом — А. Валлисниери через одно или два поколения после Ф. Реди.

Принцип Реди вошел в научное сознание лишь в XIX в., почти через девять поколений после его смерти. Его окончательно ввел в наше построение космоса Л. Пастер, великий француз, человек родственного умственного и душевного склада с Ф. Реди.

Без сомнения, нужно представлять себе в генеалогии человечество в виде миллионов последовательных поколений существ, следующих друг за другом от отца к сыну без перерыва, существ, внешний вид которых и функции которых время от времени подвергались изменению. Очень вероятно, что продолжительность жизни наших далеких предков была короче нашей. Учет времени по последовательности поколений человека и его предков приводит нас к невероятным числам, превышающим наше воображение.

III

Западное человечество последовало по пути, раскрытому для мысли Ф. Реди и Л. Пастером, лишь неохотно и с большим усилием.

Идеи о вечности жизни, отрицание ее начала, мысль о непереходимом — в аспекте известных физико-химических явлений — различии, существующем

между косной и живой материей, были в полнейшем противоречии с навыками его мысли, с его мировоззрением. Идеи о начале и конце видимого Космоса, всего материального мира, так же как о реальном единстве всего существующего, оставили глубокий след на его умственном складе.

Самозарождение, т.е. генезис живого организма за счет косной материи, без посредства другого живого организма, многим ученым все еще кажется логично необходимым[1]; оно им кажется неизбежным следствием из геологической истории нашей планеты, необходимым для научного объяснения жизни. С глубокой верой высказывались и высказываются убеждения, что прямой синтез организма из его материальных элементов должен быть необходимым завершением успехов науки. Не сомневаются в том, что был момент (если, впрочем, этот процесс не имеет места и в йаше время), в который организм зародился в земной коре в силу самопроизвольного изменения косной материи.

Нужно иметь в виду, что эти воззрения коренятся не в научных фактах, но в построении религии и философии.

Конечно, возможно, что они соответствуют реальности. Нельзя их считать научно опровергнутыми. Но ничто не указывает на их возможность. Ничто также не указывает на то, что проблема самозарождения не принадлежит к тому же ряду исканий, как и задача о квадратуре круга, о трисекции угла, о perpetuum mobile, о философском камне. Стремление разрешить все эти проблемы было не бесплодно, оно имело очень важные последствия. Оно привело к великим новым открытиям, но самые проблемы оказались нереальными.

Оставаясь на почве науки, мы должны признать, что:

1) нигде и ни в каких явлениях, происходящих или когда-либо имевших место в земной коре, не было найдено следов самозарождения жизни;

2) жизнь, какой она нам представляется в своих проявлениях и в своем количестве, существует непрерывно со времени образования самых древних геологических отложений, со времени архейской эры;

3) нет ни одного организма среди сотен тысяч различных изученных видов, генезис которого не отвечал бы принципу Реди.

Если самозарождение[2] жизни не фикция, созданная нашим умом, оно может осуществляться лишь вне области известных нам физико-химических явлений. Лишь открытие каких-либо неожиданных явлений могло бы нам доказать его реальность, как открытие радиоактивности доказало потерю веса материи и разрушение атома, которые могут проявляться лишь вне области физико-химических явлений, до той поры изученных.

В настоящее время мы не можем с научной точки зрения рассматривать жизнь на нашей планете иначе, как выражение единого явления, существующего без перерыва со времени самых древних геологических эпох, следы которых мы можем изучать. В течение всего этого времени живое вещество было резко отде-

[1] В современной биологии четко различают такие понятия как спонтанное самозарождение и абиогенез (химическая эволюция). (С. В. Межжерин).

[2] В данном случае - химическая эволюция. (С. В. Межжерин).

лено от косной материи. Человек неразрывно связан в одно целое с жизнью всех живых существ, существующих или когда-либо существовавших.

IV

Человек связан с этим целым еще благодаря питанию. Эта новая связь, как бы она ни была тесна и необходима, совсем иного порядка, чем непрестанное чередование поколений живых существ. Эта связь не есть тот глубокий природный процесс, неизменный и необходимый для жизни, который выражен принципом Реди.

Правда, что эта связь составляет часть великого геохимического явления — круговорота химических элементов в биосфере, вызванного питанием организованных существ. Однако связь эта может быть изменена, не затронув стойкости жизненного целого. В палеонтологической истории биосферы существуют серьезные указания на то, что аналогичное изменение уже имело место в эволюции некоторых групп бактерий, невидимых и мельчайших существ, обладающих, однако, огромной геохимической силой.

Зависимость человека от живого целого благодаря его питанию определяет все его существование. Изменение режима — в случае, если бы это произошло, — имело бы огромные последствия. В настоящее время основным фактом жизни является неизбежность и возможность, свойственные человеку, строить и поддерживать существование и неприкосновенность своего тела только усвоением других организмов или продуктов их жизни. Химические соединения, созданные таким путем в земной коре, ему нужны и необходимы для его существования, но человеческий организм не может сам их производить. Он должен их искать в окружающей живой среде, уничтожать другие живые существа или использовать их биохимическую работу. Он умирает, если не находит в земной коре других живых существ, которыми мог бы питаться.

Очевидно, что вся жизнь человека, весь его социальный уклад в течение всего хода истории определяются этой необходимостью. В конце концов именно это неукротимое стремление управляет миром человека, строит и его историю, и его быт.

V

Новые основы нашего современного представления о питании были заложены быстрым темпом — в течение немногих лет — к концу XVIII в. благодаря усилиям небольшой избранной кучки людей, которые таким образом преобразовали наше мировоззрение, но остались не признанными и не понятыми своими современниками.

Это были лорд Х. Кавендиш в Лондоне — самый богатый человек страны, мизантроп и научный аскет; А.Л. Лавуазье — финансист и исследователь, глубокий и ясный мыслитель, убийство которого является незабываемым стыдом для человечества; Ж. Пристлей — пламенный теолог и английский радикал, преследуемый и непонятый, случайно избегнувший смерти, когда фанатичная толпа со-

жгла и уничтожила его дом, его лабораторию, его рукописи, он вынужден был покинуть свою родину; Т. де Соссюр — женевский аристократ, представитель семьи, в которой высокая научная культура была наследственной; Ж. Ингенхуз — глубокий натуралист и голландский врач, который, потому что был католиком, не мог создать себе положение на родине и работал в Вене и в Англии. За ними последовало множество исследователей во всех странах.

Через одно или два поколения, около 1840 г., идеи этих пионеров окончательно проникли в науку и были выражены с большей энергией и полнотой в Париже Ж. Буссенго и Ж. Дюма и в Германии, в Гиссене, Ю. Либихом.

Достижения огромной важности были результатом труда этих людей.

VI

Живое единое целое — монолит жизни — мир организмов биосферы по своим функциям и по положению в земной коре оказался двойственным.

Существование большей части живого вещества, мира зеленых растений, находится в зависимости лишь от косной материи; этот мир независим от других организмов. Зеленые растения сами могут вырабатывать вещества, необходимые для их жизни, пользуясь косными, с жизнью не связанными химическими продуктами земной коры. Они заимствуют газы и водные растворы из окружающей среды и сами строят бесчисленные азотистые и углеродные соединения, сотни тысяч различных тел, входящих в состав их тканей.

Немецкий физиолог И. Пфеффер назвал организмы, обладающие этими свойствами, *автотрофными*, потому что они в своем питании ни от кого не зависят. *Гетеротрофными* он назвал те организмы, которые в своем питании зависят от существования других организмов, пользуются их химическими продуктами. Они могут лишь изменять эти химические соединения, приготовленные независимо от них, приспособлять их к своей жизни, но не могут их создавать.

Существуют зеленые организмы, питание которых разнородно, которые отчасти приготовляют нужные химические соединения из косной материи, частью же, как, например, паразиты, получают их, эксплуатируя другие организмы. Это многочисленные в живой природе существа — *миксотрофные* организмы Пфеффера. Омела - один их примеров, всем известный.

Зеленые автотрофные организмы, зеленые растения, образуют главную основу единого монолита жизни. Бесконечно различный мир грибов, миллионы видов животных, все человечество могут существовать только в силу биохимической работы зеленых растений. Эта работа возможна лишь благодаря врожденной способности этих организмов превращать излученную Солнцем энергию в химическую энергию.

Очевидно, что жизнь не есть простое, исключительно земное явление, но, насколько принцип Реди соответствует реальности, должна рассматриваться как космическое явление в истории нашей планеты.

И так же очевидно, что монолит жизни в целом не есть простое собрание отдельных неделимых, случайно собранных, но есть сложная организованность,

части которой имеют функции, взаимно дополняющие друг друга и содействующие одна другой.

VII

Автотрофный растительный мир может исполнять функцию, ему принадлежащую в этой организованности, только благодаря изготовлению им зеленого вещества, обладающего очень специфическими и замечательными свойствами, — *хлорофилла*. Это — сложное органическое соединение, содержащее атомы магния; строение его молекулы, состоящей из углерода, водорода, кислорода, магния и азота, очень близко к строению молекулы *гемоглобина* нашей крови, в которой магний заменен железом.

Хлорофилл, строение и химические свойства которого начинают выясняться, образуется в растениях в мелких, микроскопических тельцах — пластидах, рассеянных в клетках. Эти пластиды образуются только путем деления других, уже существующих пластид: организм не может их создавать иным способом. Здесь обнаруживается замечательный факт, указывающий на существование явления, аналогичного тому, которое выражено в принципе Ф. Реди. Как бы далеко мы ни углублялись в прошлое, мы наблюдаем образование хлорофилльных пластид исключительно из таких же пластид, ранее существовавших.

Благодаря этим хлорофиллсодержащим пластидам организм зеленых растений может в своей жизни обходиться без других организмов[1].

Если бы мы принимали во внимание лишь вопрос о питании, зеленое растение могло бы существовать в одиночестве на поверхности нашей планеты.

VIII

Значение автотрофных организмов с хлорофилльной функцией в биосфере огромно. Они не только дают возможность существования всем другим организмам и человечеству, но они определяют химию земной коры. Можно дать понятие о порядке этого явления, вспомнив некоторые связанные с ним числовые данные.

Мы окружены зеленью садов, лугов, лесов и полей. Если бы взглянуть на Землю с другой планеты, она казалась бы окрашенной в зеленый цвет. Но эта масса хлорофилла является лишь частью общей массы его, большая ее часть невидима для нас. Она наполняет верхние слои Мирового океана по крайней мере до глубины 400 м. Хлорофилл разбросан в бесчисленных мириадах одноклеточных невидимых для глаза водорослей; каждая из них дает начало в течение двух или трех суточных обращений нашей планеты новому поколению, которое немедленно начинает воспроизводиться. Если бы они не служили пищею другим организмам, то в несколько месяцев их количество сделалось бы невероятным и наполнило бы собой весь Мировой океан, всю его воду.

[1] Верно, если не учитывать симбиотопические бактерии. (С. В. Межжерин).

Присутствие свободного кислорода в атмосфере и в водах есть проявление хлорофилльной функции. Весь свободный кислород земного шара есть продукт зеленых растений[1]. Если бы зеленые растения не существовали, через несколько сот лет на поверхности Земли не осталось бы следа свободного кислорода и главные химические превращения на Земле прекратились бы.

Общий вес свободного кислорода в земной коре равняется 1,5 квадрильона метрических тонн. Уже одна эта цифра может дать представление о геохимическом значении жизни!

Количество хлорофилла, вырабатываемою зелеными растениями и непрерывно в них находящегося, которое необходимо для поддержания неизменности земной массы свободного кислорода, равняется по меньшей мере нескольким биллионам тонн.

IX`

Более 30 лет назад русский биолог С.Н. Виноградский внес в эту картину новую важную черту, доказывающую еще большую сложность строения живого целого.

Он доказал существование живых автотрофных существ, лишенных хлорофилла. Это существа невидимые, бактерии, изобилующие в почвах, в верхних слоях земной коры, проникающие глубокие толщи всемирного океана.

Несмотря на их микроскопические размеры, их значение в экономике природы огромно благодаря поразительной силе их размножения.

Их огромное размножение, несравненно больше размножения одноклеточных зеленых водорослей, заставляет рассматривать их существование как явление, по порядку своему родственное с жизнью зеленых растений.

Без сомнения, число видов автотрофных бактерий незначительно; оно не превышает сотни, между тем как видов зеленых растений известно до 180 000. Но одна бактерия может произвести в один день по крайней мере несколько триллионов особей, между тем как одна одноклеточная зеленая водоросль, из всех зеленых растений наиболее быстро размножающаяся, дает в тот же промежуток времени лишь несколько особей, и большей частью гораздо меньше, около одной особи в 2-3 дня.

Бактерии, открытые С.Н. Виноградским, независимы в своем питании не только от других организмов, но непосредственно и от солнечных лучей. Они употребляют для построения своего тела х*имическую энергию химических земных соединений*, минералов, например богатых кислородом.

Этим путем они производят в биосфере огромную геохимическую работу, как разлагая эти соединения, так и создавая, как следствие этого разложения, новые синтезы. Их роль значительна в истории углерода, серы, азота, железа, марганца и, вероятно, многих других элементов нашей планеты.

---

[1] Другие, не связанные с жизнью реакций его образования (радиохимическое разложение молекул воды и такое же световое – ультрафиолетовые лучи) дают сравнительно ничтожные массы его.

Не подлежит сомнению, что они составляют часть того же единого целого — монолита жизни, — в который входят все другие организмы, ибо они являются их пищей, используя, в свою очередь, отбросы. Все это заставляет думать, что связь эта еще более тесная, что они принадлежат монолиту жизни генетически.

Можно их рассматривать как очень специализированные растения, эволюционно происшедшие из зеленых растений, как это обычно допускают для других бесхлорофилльных растений. Но не исключена, однако, возможность видеть в этих бактериях живых представителей отдаленных предков — организмов с хлорофилльной функцией.

При современном состоянии наших знаний первая гипотеза кажется более правдоподобной. Однако нужно принять во внимание, что организмы, открытые С.Н. Виноградским, играют первенствующую роль в явлениях выветривания земных минералов. Это же выветривание, по-видимому, неизменно в течение всей геологической истории нашей планеты. Оно существенно не изменилось с архейской эры.

X

Человек — животное общественное, гетеротрофное. Он может существовать лишь при условии существования других организмов, именно зеленых растений.

Однако его существование на нашей планете резко отличается от существований всех других организованных существ. Разум, его отличающий, придает живому веществу удивительные черты, глубоко изменяет его действие на окружающую среду.

Возникновение человека было актом величайшей важности, единичным в течение геологической истории: ему нет ничего аналогичного в течение мириадов предшествовавших веков.

С научной точки зрения можно его рассматривать лишь как результат длинного естественного процесса, начало которого для нас теряется, но который длится непрерывно в течение всего геологического времени. Ни одна научная теория не смогла до сих пор обнять в целом палеонтологическую эволюцию организованных существ, последним важным проявлением которой было возникновение человека.

Можно считать это генетическое изменение живого целого, единой жизни, смерть и рождение бесчисленных поколений,[1] *эмпирическим обобщением*. Им является эволюция видов во времени.

Для ученого эмпирическое обобщение[2], [3] есть основа всех его знаний, самая достоверная их форма. Но для того чтобы связать какое-нибудь эмпирическое обобщение с другими фактами и с другими эмпирическими обобщениями, необходимо пользоваться теориями, аксиомами, моделями, гипотезами, абстракцией. В этой области существуют лишь несовершенные попытки.

---

[1] Такая дифференциация жизни, ее единства, происходит без заметного изменения в течение геологического времени ее химического составаи ее массы.

[2] Вернадский В. И. Биосфера. Л. 1926.

[3] Vernadsky W. La Biosphère. P. 1929.

Совершенно очевидно, что существует определенное направление в палеонтологической эволюции организованных существ и что появление в биосфере разума, сознания, направляющей воли — этих основных проявлений человека — не может быть случайным. Но для нас еще невозможно дать какое-нибудь объяснение этому явлению, т.е. нельзя логически связать его с современным научным построением мира, опирающимся на аналогии и аксиомы.

XI

Человек глубоко отличается от других организмов по своему действию на окружающую среду. Это различие, которое было велико с самого начала, стало огромным с течением времени.

Действие других организмов почти исключительно определяется их питанием и их ростом. Один факт образования свободного кислорода достаточен, чтобы оценить планетное значение их питания. И это один факт среди тысячи других. Образование каменных углей, нефтей, железных руд, черноземов, известняков, коралловых островов и т.д. и т.д. — немногие примеры из тысячи других проявлений их роста.

Человек, несомненно, проявляется в биосфере своим питанием и своим размножением так же, как и все другие организмы. Но масса всего человечества ничтожна по сравнению с массой живого вещества, и прямые проявления в живой природе его питания и его размножения сравнительно почти равны нулю. Австрийский экономист Л. Брентано дал очень ясное представление о масштабе человечества в биосфере. Если бы каждому человеку уделили 1 м^2 и собрали бы всех существующих на земной поверхности людей вместе, пространство, которое они заняли бы, не превысило бы площади небольшого Констанцкого озера в Швейцарии.

Совершенно очевидно, что проявление такой живой массы в масштабе геологических явлений ничтожно.

Разум все изменяет. Руководясь им, человек употребляет все вещество, окружающее его, — косное и живое — не только на построение своего тела, но также и на нужды своей общественной жизни. И это использование является уже большой геологичекой силой.

Разум вводит этим путем в механизм земной коры новые мощные процессы, аналогичных которым не было до появления человека.

XII

Человек — это *Homo sapiens faber* Бергсона. Он меняет внешний вид, химический и минералогический состав окружающей среды, своего местообитания. Местообитанием его является вся земная поверхность.

Его деятельность с каждым веком становится более мощной и более организованной. Натуралист не может видеть в ней ничего другого, как естественный

процесс того же порядка, как все другие геологические явления. Этот процесс неизменно регулируется принципом инерции; он будет идти до конца, если не встретит противной ему внешней силы, которая его уничтожит или будет держать в потенциальном состоянии.

Открытие земледелия, сделанное более чем за 600 поколений до нас, решило все будущее человечества. Изменяя этим путем жизнь автотрофных зеленых организмов на земной поверхности, человек тем самым создал такой рычаг для своей деятельности, последствия которого в истории планеты были неисчислимы. Человек этим путем овладел всем живым веществом, не только зелеными растениями, так как именно эти последние определяют жизнь всех других существ. Малопомалу человек изменил живое вещество согласно решению и целям своего разума.

Благодаря земледелию он себя в своем питании освободил от стихийной зависимости от живой окружающей природы, тогда как все другие организованные существа в этом отношении являются ее бессильными придатками.[1]

XIII

Основываясь на этой великой победе, человек уничтожил девственную природу. Он внес в нее массу неизвестных, новых химических соединений и новых форм жизни — культурных пород животных и растений.

Он изменил течение всех геохимических реакций. Лик планеты стал новым и пришел в состояние непрестанных потрясений.

Но человеку не удалось до сих пор достигнуть в этой новой среде необходимой обеспеченности своей жизни.

Новые тревожные факты, затрагивающие основы его существования, проявляются в последнее время.

Запасы исходных для его существования сырых материалов, видимо, уменьшаются с ходом времени. Если их потребление будет увеличиваться с тою же быстротой, как раньше, положение станет серьезным. Через два поколения можно ждать железного голода; нефть начнет исчезать еще раньше, вопрос о каменном угле может через несколько поколений сделаться трагическим. То же самое ожидает большинство других первичных основ цивилизации, материальной культуры. Каменноугольный голод кажется особенно тревожным, так как именно уголь дает человеку энергию, необходимую для его общественной жизни в теперешней ее форме.

Это явление неизбежно, ибо человек быстро истребляет в виде угля запасы исходного для культуры сырья, образовавшиеся в течение мириадов веков. Для сколько-нибудь заметного нового их накопления потребовалось бы такое же огромное время. Эти запасы неизбежно ограниченны. Если бы даже нашлись не-

[1] Очевидно, что это все же некоторое преувеличение. Катастрофические неурожаи, вызванные факторами не зависящими от человека постоянно преследуют человечество. Кроме того человечество так и не избавилось дефицита пищи. Около одного миллиарда людей на земном шаре постоянно голодают. (С. В. Межжерин).

известные новые их источники или если бы стали обрабатывать менее богатые или более глубокие их концентрации, этим лишь отодвинули бы на время наступление критического момента, но тревожная проблема осталась бы нерешенной.

Глубокие умы уже давно убедились в необходимости изобретения радикальных социальных мероприятий, научных открытий нового порядка, чтобы отразить неминуемую опасность.

XIV

Выхода из положения можно ожидать, на ряду с разрешением социальных проблем, которые поставлены социализмом, в изменении формы питания и источников энергии, доступной человеку.

На эти два пути устремляется мало-помалу мысль ученых. Они теперь стоят на прочной почве. Не только возможность разрешить эти две проблемы не подлежит уже сомнению, но больше того, ясно, что они неизбежно, как природный процесс, *будут разрешены* в очень короткое время даже по сравнению с продолжительностью жизни человечества.

Разрешение этих проблем рисуется как результат прогресса науки вне связи с социальными проблемами. Уже с давних пор наука в своем искании истины стремится найти новые формы энергии в мире и создать великие химические синтезы органического вещества. Средства, которыми она располагает для своей работы, очень недостаточны, но они единственные доступные ей в современном человеческом обществе, где положение ее пока находится в поразительном противоречии с ее действительной ролью как производителя богатства и человеческого могущества.

Можно ускорить это научное движение, создавая новые методы исследования, но остановить его невозможно. Ибо нет силы на Земле, которая могла бы удержать человеческий разум в его устремлении, раз он постиг, как в данном случае, значение истин, перед ним раскрывающихся.

XV

До сих пор сила огня в ее разнообразных формах была почти единственным источником энергии социальной жизни. Человек завладел ею, сжигая организмы или их ископаемые остатки. За последние десятки лет началась систематическая замена огня другими источниками энергии, независимыми от жизни, прежде всего белым углем. Уже сделан первый подсчет запасов белого угля, экономии движущей силы воды, находящейся на поверхности всей планеты. Подсчет показал, что, как это количество ни велико, оно одно недостаточно для удовлетворения *социальных нужд*.

Но запасы энергии, находящиеся в распоряжении разума, неистощимы. Сила приливов и морских волн, радиоактивная, атомная энергия, теплота Солнца могут дать нужную силу в любом количестве.

Введение этих форм энергии в жизнь есть вопрос времени. Он зависит от проблем, постановка и разрешение которых не являются неисполнимыми.

Так добытая энергия будет практически безгранична.

Пользуясь непосредственно энергией Солнца, человек овладеет источником энергии зеленых растений, той формы ее, которой он сейчас пользуется через посредство этих последних как для своей пищи, так и для топлива.[1]

XVI

Непосредственный синтез пищи, без посредничества организованных существ, как только он будет открыт, коренным образом изменит будущее человека.

Разрешение этой задачи тревожило воображение ученых со времени великих успехов, достигнутых органической химией; в сущности это невысказываемая, но неотступная мечта работников лабораторий. Ее никогда не теряют из виду. Если великие химики лишь изредка высказывают ее, как это делал М. Бертело, то только потому, что они знают, что эта задача не может быть разрешена, пока не будет сделана длительная подготовительная работа. Эта работа совершается систематически. Она может быть уделом только многих поколений потому, что в современном социальном строе наука находится в бедственном положении.

Одно поколение уже исчезло со времени смерти М. Бертело. Мы теперь гораздо ближе стоим к осуществлению заветной цели, чем при его жизни. Можно проследить ее медленное, но непрестанное движение вперед. После блестящих. работ немецкого химика Э. Фишера и его школы над белками и углеводами не может быть сомнений в конечном успехе.

Во время последней мировой войны задача эта несколько раз подвергалась рассмотрению в разных странах с точки зрения ее практического осуществления, и убеждение в неминуемости ее разрешения пустило глубокие корни в среде ученых.

Без сомнения, случается, что научное открытие теряется или получает практическое осуществление, применение в жизни, лишь долго спустя после того, как было сделано. Но можно быть уверенным, что такая судьба не постигнет синтеза пищи.

Открытия этого синтеза ждут, и его великие последствия в жизни не замедлят проявиться.

---

[1] Перед современной цивилизацией, которая стремится к своему дальнейшему развитию, неразрывно связанному с наращиванием производства, возникает задача разработать технологии искусственного фотосинтеза — накапливать и перерабатывать солнечную энергию в этом смысле особый интерес вызывает одна из реакций, происходящих при фотосинтезе — разложение воды на водород и кислород под действием солнечной энергии. Полученный таким образом водород можно сжигать на водородных станциях, используя для этого полученный кислород. В результате, как и на любых других теплоелекростанциях, можно будет получать энергию. Главная технологическая проблема искусственного фотосинтеза — это получение устойчивых катализаторов, которые бы способствовали разложению молекулы воды на водород и кислород под действием фотонов света. Ведь образующийся кислород сразу взаимодействует с катализатором, разрушая его. Растения решают эту проблему просто — они постоянно синтезируют новые ферменты, тогда как в искусственном технологическом процессе такие замены оказываются очень «дорогим удовольствием» (С. В. Межжерин).

XVII

Что означал бы подобный синтез пищи в жизни людей и в жизни биосферы?

Его создание освободило бы человека от его зависимости от другого живого вещества. Из существа социально гетеротрофного он сделался бы существом социально *автотрофным*.

Последствия такого явления в механизме биосферы были бы огромны. Это означало бы, что единое целое — жизнь — вновь разделилось бы, появилось бы третье, независимое его ответвление. В силу этого факта на земной коре появилось бы в первый раз в геологической истории земного шара *автотрофное животное* — автотрофное позвоночное.

Нам сейчас трудно, быть может невозможно, представить себе все геологические последствия этого события; но очевидно, что это было бы увеличением долгой палеонтологической эволюции, являлось бы не действием свободной воли человека, а проявлением естественного процесса.

Человеческий разум этим путем не только создал бы новое большое социальное достижение, но ввел бы в механизм биосферы новое большое геологическое явление.

XVIII

Отражение такого синтеза на человеческом обществе, несомненно, коснется нас еще ближе. Будет ли оно благотворно или доставит новые страдания человечеству? Мы этого не знаем. Но течение событий, будущее, может быть определяемо в сильной мере нашей волей и нашим разумом. Нужно уже сейчас готовиться к пониманию последствий этого открытия, неизбежность которого очевидна.

Лишь отдельные мыслители предчувствуют приближение новой эры. Они по-разному представляют ее последствия.

Их интуиция находит себе выражение в художественных образах — в романах. Некоторые из них смотрят на будущее тревожно и трагично (Д. Галеви в «Histoire de quatre ans» — «История четырех лет»), другие рисуют его себе великим и прекрасным («Auf zwei Planeten» глубокого мыслителя и историка идей немца К. Лассвица)[1].

Натуралист может взирать на это открытие иначе, с мудрым спокойствием.

Он видит в завершении его синтетическое выражение большого природного процесса, длящегося миллионы лет и не являющего на всем этом протяжении признака разложения. Этот процесс творческий, а не анархический.

В конце концов будущее человека всегда большей частью создается им же самим. Создание нового автотрофного существа даст ему доселе отсутствующие возможности использования его вековых духовных стремлений; оно реально откроет перед ним пути лучшей жизни.

---

[1] Есть русский перевод.

XIX

[1. Через год (в 1926 г.) после напечатания этой статьи (1925 г.) мне пришлось при дальнейшем научном углублении в проблемы биогеохимии подойти к явлениям, которые, казалось, в корне подрывали высказанные здесь представления о достижимости автотрофности человечества.

Дело в том, что выявилась возможность более глубокого отличия между составом, а следовательно, и пищей живых организмов и окружающей их среды, чем я тогда предполагал. Живые организмы, возможно, не только создают особые, нигде в других условиях не образующиеся на земле молекулы — соединения элементов — чрезвычайно сложного и своеобразного строения и не только избирают из окружающей среды определенные — качественно и количественно — химические элементы, но могут обладать способностью разлагать изотопические смеси, из которых состоят химические элементы, меняют атомный вес (меняют отношение между изотопами, составляющими химический элемент) и избирают из окружающей среды *отдельные изотопы*.

Эта научная гипотеза, вытекавшая из данных наблюдения над живым веществом и над биосферой, была поставлена мной в 1926 г. конкретно, и с 1928 г. в этой области идет научная экспериментальная работа. До сих пор она не привела к определенно решающим результатам.

Однако открытие в 1933 г. тяжелого водорода — дейтерия-D — ясно показало, что живые организмы иначе относятся к его соединениям, чем к соединениям легкого водорода, и влияют на смеси H_2O и D_2O. Способность организмов в этом частном случае влиять избирательно на изотопические смеси может считаться доказанной, хотя и не изученной.

Отсюда следует, что проблема пищи является значительно более сложной, чем это казалось в 1925 г., когда впервые напечатана была по-французски эта статья. И можно поставить вопрос, не явится ли искусственное изготовление пищи человека утопией, раз должно приниматься во внимание происходящее при этом изменение некоторых химических элементов. Возможно, что некоторые химические элементы входят в пищу человека через растительные или животные вещества, которыми он питается, или в виде чистых изотопов, или в виде измененной по сравнению с обычным химическим элементом иной изотопической смеси.

Если только процесс изменения изотопических смесей совершается в природе исключительно в живом веществе, в таком случае человек не может избавиться от растительной и животной пищи, если, конечно, человек не сумеет сам извлекать из косной материи нужные ему для жизни химические элементы — иные, чем в окружающей среде, их изотопические смеси, — или получать чистые изотопы.

В первом случае приходится допустить, что атомные веса должны колебаться в окружающей природе и не быть постоянной и неизменной величиной, как это мы принимаем сейчас в химии. Во втором — надо допустить, что это может сделать человек со своей техникой.

Оба эти вывода, мне кажется, не только заслуживают внимания и требуют проверки, но, больше того, оба отвечают действительности.

Несомненно, изменения атомных весов химических элементов, наблюдаемые в земной коре, в подавляющей части очень незначительны, однако они есть, они реальны, но не изучены и нам известны в отдельных частных случаях, открытых попутно. Эта область природных явлений заслуживает сейчас самого глубокого изучения, так как подводит нас к большим и важным процессам, происходящим в земной коре[1].

Надо поставить общий вопрос о колебаниях атомных весов химических элементов в земных условиях. Колебания атомных весов в биохимических процессах будут частным случаем общего явления.

Эти колебания, судя по точности определения атомных весов, незначительны, редко достигают десятых долей и более — их надо искать в третьем десятичном знаке атомного веса в большинстве случаев.

Существование колебаний, несомненное в ряде случаев, не изучено, и неясно, насколько оно обще всем элементам и насколько распространено в земной коре[2].

3. Для получения синтетическим путем пищи необходимо, таким образом, синтезировать и те изотопические смеси (химические элементы), которые отвечают природным состояниям химических элементов в живых существах — конечно, в том случае, если эти состояния отличны от состояния элементов косной материи, что ближайшее исследование выяснит.

Сейчас совершенно ясно, что отделение изотопов и изменение изотопической смеси природных химических элементов не представляют непреодолимых экспериментальных трудностей. Хотя сейчас эта область явлений мало экспериментально разработана, но это — вопрос времени.

Для синтеза пищи необходимо будет не только создать те химические тела и их смеси, которые в виде хлеба, мяса и т.п. употребляет в пищу человечество, но и изменить изотопические смеси некоторых из входящих в их состав химических элементов, и это, кажется нам, по крайней мере сейчас, может быть сделано.

Автотрофность человечества может быть создана и при этом условии. Все, что сказано в этой статье, таким образом, остается правильным.]

---

[1] Вернадский В. И. Геохимия в Союзе. Сборник «Наука и техника СССР 1917-1927». М. 1927.

[2] Вернадский В. И. Очерки геохимии. Изд. 4-е, Л. 1934.

ХОД ЖИЗНИ В БИОСФЕРЕ [1, 2]

1. Живое вещество[3] действует в геохимических процессах земной коры своей массой, своим химическим составом и своей энергией.

Мерой массы для каждого однородного живого вещества (т.е. для совокупности живых организмов одного и того же вида или одной и той же расы) может служить средний вес живого организма.

Мерой его химического состава может служить средний атомный состав организма, выраженный в процентах веса элементов или в процентах их атомов[4].

Мерой его энергии является среднее количество его неделимых, появляющееся в биосфере благодаря размножению в единицу времени.

2. Живые организмы получают геохимическое значение в земной коре только благодаря присущей им способности к размножению.

Благодаря ему в каждый данный момент в земной коре существуют и образуются огромные массы живого вещества порядка 10^{20}–10^{21} грамм.

Этим путем живое вещество покрывает почти сплошным покровом поверхность земли — сушу, охватывает все воды — море. Несущая хлорофилл его часть улавливает почти всю световую лучистую энергию солнца, достигающую земли,— превращает ее в мощный аппарат действенной земной химической энергии — источник существования всех вадозных минералов, перемещает на земной поверхности ежесекундно миллионы тонн атомов, создает такой мощный аппарат изменения нашей планеты, каким является свободный кислород.

Живее вещество распространяется по земной поверхности благодаря размножению, подобно газу, неуклонно проходя всюду, обходит препятствия, оказывает давление в окружающей среде. Нужно делать усилие — тратить другую энергию — чтобы не допустить его появления в какой-нибудь части земной поверхности, где существуют условия, благоприятные для жизни. Организмы чредой поколений в геологическое время приспособляются к самым невероятным местам обитания. Пространства, лишенные жизни — азойные места земной поверхности, составляют на лике земли ничтожные в общей массе участки. Мало-помалу, но неизбежно, эти бедные жизнью участки, если они освещаются солнцем, захватываются ею, благодаря размножению.

---

[1] Опубликовано в журнале «Природа», 1925, №10–12. С. 26–38.

[2] К вопросам, связанным с геохимическим значением жизни, я возвращался многократно – в брошюрах и книгах: Химический состав живого вещества (1923), Начало и вечность жизни (1922), Живое вещество и химия моря (1924), La géochimie (1924), и в статьях: Химические элементы и механизм земной коры (Природа, 1922), Sur la géochimie (Revue Scientifique (1924)), Sur la portée biologique de quelques manifestations géochimiques de la vie (Revue générale de Sciences (1925)), L'autotrophie de I'humanite (ib. 1925)). Скоро должна выйти в Научн. Хим. Техн. Изд-ве книжка «Биосфера» (Геохимические очерки) и я готовлю к печати сводную работу "La matiére vivante dans la biosphére".

[3] Живое вещество — совокупность живых организмов.

[4] W. Vernadsky. Comptes Rendus de l'Acad. d. Sc. 179. P. 1924. p. 1215.

Этим постоянным и неуклонным созданием новых масс веществ сложного и своеобразного состава, непрерывно и повидимому безгранично увеличивающимися с ходом времени, живое вещество коренным образом отличается от косной—мертвой материи, для которой нам неизвестно никакого аналогичного механизма.

3. Для числового сравнения создания живого вещества различными видами организмов необходимо выразить способность размножения для всех их одинаковым образом.

Как мы знаем, интенсивность размножения меняется — в различных пределах для каждого вида в зависимости от условий его существования. Во всем дальнейшем изложении я буду по возможности принимать во внимание — когда это не очевидно — наибольшую возможную или наибольшую наблюдаемую для данного вида размножаемость. Это размножение отвечает или потенциальному размножению[1] или размножению в наиболее благоприятных для жизни условиях существования организма (при оптимуме жизни).

4. Для многочисленных и разнообразных семейств протистов размножение дроблением может быть выражено формулой:

$$2^{n\Delta} - * N_n = (\alpha - 1)^n$$

причем

$$2^{n\Delta} - 1 = (N_n - N_n - 1)/(N_n - 1) = \alpha = \text{const.}$$

где Δ — коэффициент, показывающий число удвоений неделимого в теоретические сутки; n — число теоретических суток в 24 часа ($24^h\ 0^m\ 0^s$), прошедших от начала размножения.

Величина α дает суточное приращение количества неделимых, отнесенное к их количеству предыдущих суток. Это характерная для каждого вида постоянная.

5. Очень замечательно, что размножение других организмов, повидимому всех, может быть сведено к той же формуле, не считаясь с его половым или бесполым характером, ни с бесконечным разнообразием его проявлений и морфологических особенностей.

Полученные этим путем константы α[2] дают возможность численно сравнивать между собою — по отношению к этому основному свойству живой материи — все бесконечно отличающиеся между собой, морфологически столь различные живые существа.

6. Формула размножения, дающая величину α, очевидно отвечает реальному природному явлению только в количестве неделимых, получаемых каким-либо организмом путем размножения. Вычисленное по ней количество неделимых — N_n — будет точно отвечать реально производимому потомству, если n будет отвечать тому количеству суток (или соответственно часов и минут, выраженных в сутках),

---

[1] C.Möbius. Die Austern. B. 1877.

[2] W. Vernadsky. Comptes Rendus de l'Acad. d. Sc. De Paris 180. P. 1925. p. 2079.

которые совпадают с промежутком между двумя реальными генерациями.

Но только в этом и будет совпадение между данной формулой и природным аффектом. Во всем остальном реальное явление и то, которое выражено моделью, отвечающей этой формуле, различны. Ибо формула эта отвечает некоторой м о д е л и , которой мы и здесь как во всех наших научных представлениях о космосе, замещаем природное явление. Эта модель для всех организмов, кроме тех, которые размножаются делением, резко отлична, даже по своей форме от того процесса, которым организм производить свое потомство. Живой организм и модель разным путем дадут одно и тоже количество неделимых, и оно по этой формуле может быть вычислено.

Коренное различие между этой моделью и реальным размножением для всех организмов заключается в том, что организм работает для получении потомства прерывисто. Модель, которой мы его заменяем, дает нам процесс, идущий равномерно с ходом времени. Мы сводим этим путем все размножение на одну и ту же единицу времени.

7. В геохимических явлениях во всем процессе размножения имеет значение только количество неделимых, производимое в единицу времени. Оно дает нам меру работы, производимой живым веществом. Разное количество получаемых этим путем неделимых в одно и гоже время дает числовое представление об интенсивности процесса. Количество производимых неделимых, умноженное на их средний вес, дает массу живой материи, созданной в единицу времени. Очевидно, зная средний атомный состав организма можно легко получить геохимический учет этой работы— по отношению к массе атомов химического элемента или к их числу.

Так как количество неделимых, вычисляемое по этой формуле, совершенно точно отвечает реальному их воспроизведению путем размножения — то эта простая модель может заменить и геохимических вопросах сложное природное явление. В таком случае α будет характеризовать производимую соответствующим ей организмам (его живым веществом) геохимическую работу в биосфере, т. е. его в ней г е о х и м и ч е с к у ю э н е р г и ю .

8. Но эта модель дает еще другое более глубокое совпадение с реальностью поскольку эта последняя наблюдается в геохимических явлениях.

Она отражает — количественно правильно — тот совершенно особый характер, какой и м е е т в р е м я в явлениях жизни. В с е я в л е н и я ж и з н и и с т о р и ч н ы . Они меняются с ходом времени. Ни одно из них в сущности не может быть сравниваемо в разные промежутки времени—без внесения поправок — ни для отдельного организма, ни для отдельного вида. Это резко выявляется в эволюции видов в длинные геологические периоды времени.

Формула §3 указывает, что, хотя α остается постоянной, количество неделимых, выбрасываемое в биосферу одним и тем же живым веществом в каждые сутки, различно и безгранично увеличивается с ходом времени со все растущей скоростью. Благодаря этому различие между энергией двух отдельных однородных живых веществ, как они долкны проявляться в геохимических явлениях, все время меняется. Разница растет с каждым днем и может быть всегда вычислена.

9. Благодаря такому характеру времени оказывается вполне возможным не считаться в геохимических явлениях с чрезвычайным различием между неделимыми разных видов животных и растений. Средний вес и средние размеры неделимых чрезвычайно колеблются. Бактерии весят доли триллионных частей грамма, иногда доли биллионных (10^{-10}–10^{-13}gr.), киты превышают иногда сотни тысяч килограмм, т. е. сотни миллионов грамм (10^{8} gr.). Но эта амплитуда развитий, равная порядку 10^{21}, не охватывает еще всей их разнородности, т. к. невидные в ультрамикроскоп микробы должны- весить меньше бактерий, а гиганты древесной растительности суши или морских водорослей много превышают вес величайших млекопитающих.

И, однако, в представлениях о геохимической жизни эти различия можно не учитывать. Ибо в немногие сутки мельчайшие организмы дают количества вещества, которое может быть создано крупными организациями лишь в года и даже тысячелетия (§13).

10. Сравнивать геохимическую энергию живого вещества—оказываемое им в биосфере вследствие размножения давление—можно только в одни и те же промежутки суток от начала размножения.

Мерой такого сравнения можно взять выражение $(\alpha+1)^n$, которое дает количество неделимых, могущее существовать для данного живого вещества благодаря размножению в n-ые сутки от начала размножения. Естественная смерть вносит по существу небольшую поправку, которая всегда может быть вычислена. Очевидно n может быть любым числом.

Числа $\alpha + 1$ могут быть между собою количественно сравнены непосредственно без большой погрешности, так как есть организмы, для которых величина α очень мала. Так напр. для слона $\alpha + 1 = 1.000089$. Очевидно в первом приближении $(\alpha + 1)^n$ огромного числа других организмов, отнесенное к $(\alpha + 1)^n$ слона, не будет сильно отличаться от $(\alpha + 1)^n$, отнесенной к единице. Несомненно, есть организмы еще с меньшим давлением в геохимических процессах, чем какое оказывается размножением слона.

11. Но геохимическая энергия живых организмов в биосфере может быть сравниваема этим путем и вполне точно.

Ясное понятие о соотношении между количеством неделимых разных живых веществ в разные сроки от начала процесса размножения, т. е. их геохимических энергий, может дать величина ∂, которая всегда легко может быть вычислена. Она отвечает:

$$\left(\frac{\alpha+1}{\alpha_1+1}\right)^n = \partial^n$$

где α и α_1 принадлежат разным живым веществам или одному и тому же веществу в разных условиях его размножения.

12. Очевидно полное количественное представление о геохимической энергии организмов можно получить, только зная средний вес организмов. Правда, перед общей массой создаваемого живого вещества в далекие от начала размно-

жения сутки, относительное влияние веса быстро уменьшается, но для точных подсчетов он необходим. К сожалению, наши знания о свреднем весе живых организмов ничтожны.

Таблица постоянных геохимической энергии нескольких живых веществ[1] .

	a	α+1	β_1 граммы	У сутки		
Бактерии.						
Bacterium coli communi.	$5{,}04X10^{19}$	$5.04X10^{19}$	$2.02X10^{10}$	1.76	Buchner	1888
Bacillus subtilis	$2.81 X 10^{14}$	$2{,}81X10^{14}$	$3{,}32X10^{2}$	2,58	Brefeld	1889
Грибы.						
Saccharomyces cerev..	$1{,}68X10^{7}$	$1{,}68X10^{7}$	$1{,}6X10^{-2}$	4,9	Slator	1919
«	645,470	645,471	$1.5X10^{-6}$	6.08	«	
Cystoflagellata.						
Noctiluca miliaris	1,0	2,0	$4{,}18X10^{-3}$	92,9	Pratje	1921
«	3,0	4,0	$8{,}36X10^{-3}$	46,5		
Инфузории.						
Paramaecium aurelii*) .	2,095	3,095	—	—	Woodroof	1921
Paramaecium caudatum*)	1,14	2,14	—	—	С. Метальников	1922
Stylonychia mytilus mx.	7,0	8,0	$1{,}5X10^{-5}$	34,3	Maupas	1888
« « min.	$4{,}14X10^{-1}$	1,414	$2{,}6X10^{-6}$	206,2	«	
Диатомеи.						
Nitzschia putrida *)	26,83	27,83	$1{,}86X10^{-8}$	24.5	Richter	1909
Планктон.						
Средний урожай	$2{,}993X10^{-1}$	1.29263	—	—	Lohman	1908
Пиридинеи						
Средний в планктоне.	$1{,}8921X10^{-1}$	1.18921		—	Hensen	1897
Насекомые.						
Aphis mali	$1{,}305 X10^{-1}$	1,1305	$1.8X10^{-4}$	564,9 (1,5 года)	Tougard	1834
Doryphora decemlineala.	$4{,}76 X10^{-1}$	1.0476		—	А. Брандт	1879
Зеленые травянистые растения.						
Solanum nigrum*).	$2.88X10^{-2}$	1.0288	600.47	1826,1 (5.0 лет)	В. Комаров	1922
Пшеница (среднее Франции)	$1{,}304X10^{-2}$	1,01304	—	—	Joulie & Garola	—
Птицы.						
Pyselia subflata мх.[2])	$1{,}135X10^{-2}$ $1{,}897X10^{-3}$ m	1.01325	5.94	4288 (11,75 лет)	Rey	1872
Курица mx	$6{,}23X10^{-3}$ $+1.528X10^{-2}$ m	1,02151	—	—	А. Брандт	1879

[1] Необходимо принимать во внимание большую недостаточность и неполноту данных, принятых для вычисления констант. Биологи наблюдатели не привыкли придавать числам то значение, какое мы придаем им в лабораториях или в геофизических наблюдениях. Всюду указаны авторы числа которых положены в основу вычисленных величин. Звездочкой обозначены наиболее новые наблюдения

[2] Обозначает годы. При большом количестве m — первая слагаемая очевидно достаточна.

	a	α+1	β_1 граммы	У сутки		
Carpodocus mexicanus frontalis, средн. *)	$4{,}42X10^{-3}$ $+1{,}897X10^{-3}$ m	1,00632	18,85	8351,9 (22,9 лет)	Bertgold	1913
Млекопитающие.						
Слон	$8{,}9X10^{-5}$	1.000089	$6.5X10^{6}$	472439.7 (1291 года)	Darwin	1859
Морская свинка	$1{,}525X10^{-2}$	1,01525	629.47	3409,2 (9.1 года)	Hensen	1881

Это необходимо учитывать и в таблице, где дано несколько примеров таких исчислений для β_1 (при n=1).

В этой таблице β_1 отвечает уравнению $\beta_n = p\,(1+\alpha)^n$.

Исходя из этого весового выражения геохимической энергии живого вещества, можно вычислить и для каждого дня отношения масс, создаваемых разными живими веществами:

$$\frac{\beta n}{\beta' n} = \frac{p}{p'}\partial^n$$

Очевидно ∂^n дает точное представление о росте разницы геохимической энергии разных живых веществ с ходом времени даже в случае, когда создаваемая ими при этом масса неизвестна.

13. Некоторое количественное представление о разной геохимической энергии разных организмов в биосфере можно иметь иным путем, удобным в некоторых случаях. Им уже давно пользовались натуралисты, кажется впервые К. Эренберг около ста лет назад, для того, чтобы дать почувствовать значение жизни в земной коре.

Можно вычислить для организмов У, указывающую время потребное для того, чтобы вещество при благоприятных условиях создало первую массу, равную по весу земной коре.

В таблице даны несколько цифр, отвечающих этой величине У, причем вес земной коры с 16 килом. мощностью принят равным 2×10^{25} gr.

Необходимо иметь в виду, что количественно сравнивать эти величины нельзя, т.к. время, которому они отвечают, разнородно.

По характеру размножения следующая такая же масса в 2×10^{25} грамм может быть каждым живым веществом получена несравнимо быстрее чем первая. В ту тысячу с небольшим лет, которой отвечает “У” слона, бактерия дала бы массу вещества, превышающую наше воображение.

Знание У, однако, не только удобно в рассмотрении отдельных геохимических вопросов. Благодаря ему мы привыкаем точнее судить о работе жизни в биосфере. Масса живого вещества – 2×10^{25} гр. не есть реальная величина; несомненно в год живое вещество биосферы производит размножением несравненно большие чем она количества вещества, необходимые при неизменно идущей смерти, изменении и гибели живых организмов, для того, чтобы ежесекундно существовали в ней их массы, равные 2×10^{25} граммам.

Очень часто натуралисты — в суждении о земных процессах — забывают размах хода жизни в биосфере.

14. Бесчисленны и разнообразны выводы, которые получаются в понимании окружающей нас природы при внесении в нее этих числовых соотношений.

В другом месте (§ 1—прим.) я ввожу эти числовые данные в изучении геохимических явлений.

Здесь же я хочу коснуться лишь одной крупной черты строения биосферы, указывающей существование в ней факторов, резко меняющих проявление геохимической энергии живого вещества.

Для автотрофных зеленых растений (посредственно или непосредственно питающих все другие организмы, весь животный мир и все безхлорофильные организмы) чрезвычайно характерен резко иной их характер на суше и в водных бассейнах, в частности в океане.

На суше среди них — по массе вещества преобладают зеленые травянистые (или деревянистые) растения. Одноклеточные зеленые водоросли явно отходят на задний план.

В океане главная масса зеленого вещества сосредоточена в виде одноклеточного планктона; крупные водоросли и зеленые травы в общей массе имеют несравнимо меньшее значение. Они сосредоточены в более мелких участках океана, главным образом — в морях у берегов. Там, где они встречаются в открытом океане, как в Саргассовом море Атлантического океана, перед нами явно выступают следы позднейших приспособлений; первоначально здесь было мелкое, прибрежное море.

Чем объяснить такое распределение зеленого живого вещества?

15. Исходя из геохимической энергии размножения живых веществ как будто надо было всюду ждать одной и той же картины — той, какую сейчас рисует океан. Ибо для одноклеточных организмов, напр. для планктона, их У достигает десятков дней — для травяных же растений суши она отвечает годам. Быстро, с каждым днем, δ^n растет для этих организмов с огромной выгодой для одноклеточных водорослей. Для полного учета размножения однолетней травяной растительности надо брать δ^{365}. Эта величина, напр., для среднего (по числам Ломана) количества неделимых планктона и неделимых пшеницы (средний урожай Франции) равна $\delta^{365}= 1.283^{365} = 3.9\times10^{39}$.

В год число неделимых зеленого планктона должно быть т. о. в 3.19×10^{39} раз больше числа неделимых пшеницы, т. е. произведенная массой планктона работа чрезвычайно превышает такую же работу — в тот же срок—зеленых растений суши, ибо разница между весами микроскопического планктона и травянистого растения не превышает чисел порядка 10^{13}–10^{15} и должно быть много меньше.

16. В биосфере все физикохимические явления подчиняются законам равновесия, и в конце концов в ней получают преобладание такие, в которых свободная энергия системы равна нулю или наименьшая возможная геохимическая энергия (e) живых веществ будет отвечать массе созданного им в единицу времени вещества, т. е., $e=p(\alpha+1)^m$. Очевидно, из двух организмов с геохимической энергией e

и e’ будет развиваться — при неизменном притоке солнечного излучения тот, для которого e больше, т. е.

$$p\,(\alpha + 1)^m = e_m > p'\,(\alpha'+1)^m = e_m'$$

Если бы не было каких-нибудь других препятствующих явлений всюду, как в океане, должны были бы преобладать одноклеточные зеленые быстро растущие водоросли.

Однако, это было бы только тогда, если бы не было препятствий развитию любого количества живого вещества с энергией e.

Таких препятствий нет в океане, где солнечный луч, необходимый для жизни зеленых растений, проникает в среднем до глубины 400 метров и даже глубже. Есть простор для такого проявления масс водорослей, при котором $e > e'$. Мы наблюдаем в строении живого вещества гидросферы еще другую черту. Быстрое размножение зеленого планктона дает огромное развитие животной жизни. Этим производится новая работа, и равновесие отвечающей океану системы становится еще более устойчивым.

Но этого нет на суше. Здесь солнечный луч проникает на ничтожную глубину в твердую, хотя бы и рыхлую, почву. Зеленая травяная растительность — или древесная, еще выше проникающая в атмосферу — всегда создает в конце концов гораздо более вещества, чем зеленая одноклеточная водоросль, могущая распространяться только по поверхности почвы как бы велика для нее ни была величина $(\alpha+1)^n$. Свободная энергия системы здесь будет ближе к нулю, будет произведена большая работа, при развитии травяной растительности, а не зелени водорослей. И мы постоянно видим это явление вокруг нас в разной форме. Так ранней весной в наших степях в первые дни степь покрывается сплошным тонким покровом водорослей. Они не могут, однако, долго сохраняться — даже при достаточной влаге — т. к. количество их, покрыв всю площадь, не может дальше увеличиваться. В это время зеленая травяная растительность берет верх и ее e’ становится больше e, вследствие прекращения роста этой последней. Устойчивое равновесие достигается только ею.

Можно думать, что этим вызван и самый характер зеленой растительности суши -ее проникновение в атмосферу и форма ее организмов.

Этим же обусловлено значение морских трав и относительно медленно (по сравнению с пространством) размножающихся больших прибрежных водорослей в более мелких участках моря. Здесь так же, как и на суше, для мощного размножения протистов физически нет места, и с течением времени e’ становится больше e, т. е. большая работа будет произведена при развитии трав и больших водорослей, чем при развитии протистов.

ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО В БИОСФЕРЕ[1]

1. ЗАДАЧА ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Живое вещество[2] в целом, и однородное живое вещество в частности, проявляется в окружающей среде — в биосфере, в состав которой оно входит, —своей массой, своим химическим составом и своей энергией.

2. Масса живого вещества может быть выражена его весом — средним весом слагающих его частей — отдельных особей или колоний, из которых оно состоит.

Для однородного живого вещества, т.е. для совокупности организмов одного и того же вида или расы, эта масса чрезвычайно варьирует. Так, например, в биосфере она для человека и для лошади порядка 10^{13} г.

Несомненно, масса зеленых растений определенного распространенного вида гораздо больше массы наиболее обычных млекопитающих. Мировой уровень ржи порядка 10^{15} г зерна, между тем как вес самих зеленых растений, его производящих, превосходит 10^{16} г. Вес однородного живого вещества, представленного деревьями или водорослями, образующими ассоциации «леса» одного и того же вида, конечно, превышает вес злаков, даже наиболее распространенных, таких, как рожь, у которой различаются еще многочисленные расы.

Для хвойных лесов и для саргассовых водорослей числа порядка 10^{18} или 10^{19} г являются вероятными. По-видимому, мы подходим таким образом к пределу возможного количества однородного живого вещества, так как вся масса существующего в природе живого вещества не может значительно превышать 10^{21}–10^{20} г.

Эти живые организмы, которые смогли захватить такую значительную часть живой природы, конечно не просто игрою случая, имеют своих антиподов. Известно, что есть редкие очень локализованные виды, вся масса которых не превышает граммов или даже долей грамма. В биосфере существуют в некоторый данный момент количества, которые остаются в пределах порядка 10^{0} или 10^{-1} г, очень вероятно даже 10^{-2} г.

И однако эти тела всегда существуют. Это не случайность. Они рождаются вновь и вновь, непрерывно, часто в течение миллиардов лет. Таковы некоторые виды насекомых, моллюсков, некоторые растения[3].

---

[1] Работа написана в 1925 г. на французском языке («La matiére vivante dans la biosphére»). Рукопись была просмотрена В.И. Вернадским в 1942 г. и он намеревался сдать ее в печать. Перевод Ш.Е. Каминской и А.Д. Шаховской. На русском языке опубликовано впервые в издании Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с., по которому печатается здесь.

[2] *Vernadsky W.* La géochie. P., 1924. P 24.

[3] Это может быть справедливо лишь для некоторых видов одноклеточных водорослей. Моллюски появились только в конце докембрия около 600 млн лет назад, насекомые — около 40 млн лет назад, высшие растения — еще позднее. — Ред. издания Живое вещество и биосфера / В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

Ясно, что геохимическое действие организмов в биосфере находится в прямой зависимости от их массы. Если их рассматривать с точки зрения феномена земной коры, то организмы дают столь значительные массы, что они должны быть приняты во внимание. Только человек является исключением из этого правила[1].

Образование большой массы вещества каким-нибудь живым видом в биосфере является проявлением большой энергии в этой среде.

3. Эта картина полностью изменится, если вместо того, чтобы обращать наше внимание на массы однородного живого вещества различных видов и рас, мы направим его на общую их совокупность на Земле, на *живую природу*.

Все приводит нас к мысли, что общая масса живого вещества, существующего в биосфере, на каждый данный момент почти неизменна. Эта масса «живой природы» земного шара представляется почти стабильной на протяжении геологического времени, она колеблется в продолжение несметного числа лет около одной и той же величины, никогда ее не превышая[2].

Эта величина, выраженная в граммах, близка к порядку 10^{20}–10^{21}.[3]

Конечно, эта устойчивость должна быть связана с энергией, которой обладает живое вещество для своего существования в биосфере.

4. Химический состав живого вещества и «живой природы» обнаруживают одни и те же закономерности.

Каждый вид, или раса, имеет определенный химический состав, ему присущий, который отличает его от других видов однородного живого вещества. Колебания в числе атомов одного и того же химического элемента у разных видов очень велики. Для углерода, например, они изменяются в пределах 10^{1}–10^{-2} весовых процентов. Они более велики для элементов менее распространенных. Для кремния, например, эти колебания могут быть выражены пределами 10^{1}–10^{-7} (быть может, 10^{-8}) весовых процентов. Нельзя сомневаться в том, что образование нового вида или расы, — путем ли палеонтологической эволюции, путем ли воздействия человека — всегда вызывает новый, отличный от других видов химический состав этих иновь образованных в биосфере «новорожденных» видов. Он проявляется, несомненно, в резком изменении числа атомов всех химических элементов в общем атомном составе организма.

Изображение химического состава живого вещества в *весовых процентах* его химических элементов дает нам только весьма относительное представление об этом составе. Так как само явление заключается в миграции атомов, то процентное содержание *числа атомов* в теле организма даст нам более верное о нем представление. Но в особом случае, когда нас интересуют числовые колебания химических элементов в однородном живом веществе, оба способа изображения

---

[1] *Vernadsky W.* L'autotrophie de l'humanité // Rev. gén. ski, 1925. Vol. 36, № 17/18. P. 495-502. То же. Автотрофность человечества.

[2] В более поздних трудах В.И. Вернадский отказался от этой точки зрения и признал прогрессирующее увеличение массы живого вещества на протяжении геологической истории Земли. — Ред. издания Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

[3] *Vernadsky W.* La géochie. P. 1924. p. 281.

показывают явление одного и того же порядка. В случае же изменения содержания одного и того же химического элемента в двух разных видах однородного живого вещества колебания могут превысить 10^{10}.

5. Совершенно другое явление обнаруживает изучение химического состава живого вещества в целом — *живой природы*.

Химический состав всего живого нераздельного целого — монолита жизни в биосфере, по-видимому, остается неизменным или почти неизменным как для любого данного момента, так и на протяжении всего геологического времени наряду с большими палеонтологическими изменениями[1]. Ибо геохимические процессы образования вадозных минералов, поверхностного химического выветривания остаются одними и теми же, начиная с наиболее древних слоев, известных с археозойской эры (архейские породы)[2]. Это выветривание и эти вадозные образования так тесно связаны с жизненными процессами, что при наличии их устойчивости невозможно допустить сколько-нибудь важные изменения в самих жизненных процессах.

Можно считать вероятным, что химический состав всего живого вещества Земли в целом, монолита жизни, *живой природы* как современной, так и древней, остается всегда одним и тем же в течение геологического времени или колеблется около одного и того же среднего.

Это указывает на то, что не только существует постоянное отношение между числами различных атомов во всяком организме, но что каждый химический элемент в общем составе живого вещества Земли характеризуется определенной частью своих атомов, которые входят в биосферу.

6. Масса и химический состав однородного живого вещества дают нам только весьма несовершенное представление о важности его геохимического значения.

Основным фактором является его энергия, присущая его механизму способность производить в определенное время определенную же массу вещества, химический состав которой постоянен. Энергия живого вещества тем больше, чем больше его масса, она уменьшается, поскольку уменьшается эта масса.

Изучая действие живого вещества в химических процессах земной коры, я буду рассматривать эту энергию только с этой точки зрения и я буду называть ее, следовательно, *геохимической энергией однородного живого вещества в биосфере*.

7. Эта энергия проявляется в интенсивности образования новых особей организмов, т.е. в различной численности этих особей, когда они появляются в биосфере в один и тот же промежуток времени у разных видов живого вещества.

---

[1] Возможно, что человек меняет средний состав живого вещества Земли, создавая новые расы растений и домашних животных. Если бы оказалось, что это не так, что также возможно, пришлось бы признать существование какой-то неизученной автоматической биологичестой регуляции химического состава мополита жизни. – Ред. издания Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с..

[2] Отрицая эволюцию геологических процессов, В.И. Вернадский следовал широко распространенному в то время принципу актуализму, сформулированному известным английским ученым Ч. Ляйелем еще в 1832 г. За последние полвека достоверно установлено, что все геологические процессы — и выветривание, и образование надозных минералов, и даже магматизм — эволюционно изменялись на протяжении геологической истории Земли. – Ред. издания Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

Размножение является как раз тем механизмом, через который проявляется эта энергия, размножением организмов она может быть измерена.

При геохимическом или геологическом изучении этого явления всегда следует его рассматривать в его связи с земной корой, точнее, с ее поверхностью, размеры которой неизбежно устанавливают предел области обитания организмов.

Геохимическая энергия каждого однородного живого вещества может быть выражена числом особей известного веса, которые могут быть воспроизведены к данное время, или она может быть выражена общим числом особей, способным полностью покрыть всю поверхность биосферы вследствие максимального их размножения.

8. Нельзя дать себе отчет в важности живого вещества в химии земной коры, в движении химических элементов в биосфере, если не будет измерена геохимическая энергия жизни.

Чтобы это сделать, надо знать: 1) число организмов определенного химического состава, могущих появиться в результате размножения, и 2) время, потребное для этого.

9. Несомненно, существует предел для геохимической энергии живого вещества.

Однако, исходя из особенностей самой энергии, мы имеем указания другого порядка, которые приводят к тому же заключению. Все живое вещество, очевидно, связано своим происхождением с зелеными растениями, с автотрофными организмами, которые являются господствующими. Эти зеленые растения получают всю свою энергию от определенных солнечных излучений. Следовательно, все организмы черпают свою энергию из энергии Солнца при посредстве хлорофилльных растений[1].

Автотрофные бактерии не составляют исключения: вероятно, их энергия должна быть также связана в конечном счете с тем же самым источником.

Энергия, которую посылает нам наше небесное светило, не изменялась количественно на протяжении геологического времени, или, лучше сказать, мы не встречаем, в пределах наших современных методов наблюдений, никакого признака геологического или астрономического такого изменения.

Следует думать, что в течение всего этого времени Земля получала не только одно и то же количество калорий тепла, но что планета и использовала одну и ту же часть этого тепла, с небольшими отклонениями в ту или другую сторону[2].

Такое постоянство солнечного излучения может объяснить нам и неизменность массы и химического состава живого вещества в том случае, если существует устойчивое динамическое равновесие.

---

[1] В статье «Автотрофность человечества» (Биологические очеркию М.; Л.: изд-во АН СССР, 1940. С. 47-58) В.И. Вернадский привел данные знаменитого русского микробиолога С.Н. Виноградского о существовании автотрофних бактерий, заимствующих энергию от производимых ими химических реакций в неорганической среде. — Ред. издания Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

[2] Если даже признать постоянным излучение Солнца (хотя и это сейчас подтвергается сомнению), то количество солнечной энергии, поглощаемое биосферой, несомненно, сильно менялось. Оно резко сокращалось в эпохе оледенений и одновременного развития пустынь и увеличивалось в более теплые эпохи, когда исчезли ледовые шапки у полюсов и пустыни. — Ред. издания Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

В этом случае следует принять, что организмы в своем распространении в биосфере используют до конца всю свободную энергию системы. Их размножение является проявлением такого использования.

10. Итак, ясно, что невозможно представить себе работу живого вещества и его роль в земной коре с точки зрения его массы или его химического состава, если нет отчетливого представления о его энергии, о его силе размножения.

При изучении химического состава живого вещества в связи с составом земной коры значение этой точки зрения является бесспорным.

При наличии чрезвычайного множества животных и растительных видов и рас, число которых достигает миллионов, и ввиду крайне различного значения их в истории земной коры следует, чтобы прийти к общим выводам, выбрать для анализа организмы, наделенные максимальной энергией, или энергией, особенно характерной для проявления действия живого вещества на земной поверхности. Следует также уметь определять взаимодействия с точки зрения энергетики, которые существуют между различными видами однородного живого вещества, химический состав которых является предметом нашего изучения.

На этой почве, к сожалению, приходится сталкиваться с таким состоянием науки, которое требует большой предварительной работы. Проблемы воспроизведения организмов, их численного размножения в биосфере с интересующей нас точки зрения представляют крайне заброшенную, почти девственную область.

Нельзя опираться только на прежние работы. Необходимо ввести новые исследования в эту девственную область, как бы поднять целину, прежде, чем пойти дальше.

В этой статье я даю первую часть этой предварительной работы, которую я вынужден был сделать прежде, чем был в состоянии приступить к собственно химическим исследованиям, которые представляют мою главную задачу.

Многочисленные трудности, обусловленные выработкой новых общих понятий, не позволили мне идти так быстро, как бы я этого хотел.

Я не мог, конечно, показать здесь проблемы размножения такими, какими они представляются в перспективе земной коры, во всей их полноте. Я рассматриваю эту статью только как предварительный очерк, ограниченный рамками моего специального исследования.

Но без этих, отчасти новых, понятий о геохимической энергии было бы невозможно приступить к химии организмов в связи с химией земной коры.

2. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

11. Явления размножения могут быть сведены к движению материальных тел:

1) на поверхности суши,

2) в расположенных на ней водных бассейнах или

3) в самой живой среде — в другом организме[1].

[1] Пропущена подземная жизнь — Ред. издания Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

Во всех этих случаях процесс является тождественным, он состоит в распространении, своеобразном растекании живого вещества в окружающей среде в результате факта рождения материальных телец, всегда одних и тех же. Это *растекание* происходит то более быстро, то более медленно.

Сами эти тельца немедленно или через некоторый промежуток времени, определенный для каждого вида, становятся центрами того же самого процесса — распространения новых одинаковых существ, их растекания.

В зависимости от вида организма эти тельца отличаются своим весом, своим составом и интенсивностью своего возникновения, которые колеблются только в узких пределах. В общем для определенной среды возможно для каждого вида найти *средний* вес, который может его характеризовать, так же как и средний химический состав, и средний промежуток времени для его воспроизведения.

Вследствие подобного растекания все новых и новых телец с определенными, характерными для каждого вида массой и размерами их совокупность приходит в движение и захватывает мало-помалу до конца все пространство и весь объем.

Но никогда эта совокупность организмов не может в своем движении выйти из определенных границ: поверхность биосферы, объемы водных бассейнов и размеры организмов, которые могут быть захвачены паразитами, определяют эти границы.

Все эти различные пределы могут быть в конечном счете сведены, как мы это увидим, к *единственной поверхности — поверхности нашей планеты*, за пределы которой никогда не смогут выйти организмы каким бы то ни было движением подобного рода.

12. Нет сомнения, что эти движения не являются случайными, но подчиняются определенным законам, законам механики и энергетики.

С давних пор уже натуралисты XVII и XVIII вв.: Ян Сваммердам (J. Swammerdam), А. Левенгук (A. Loewenhook), Ф. Реди (F. Redi), А. Валлисниери (A. Vallisnieri), К. Линней (K. Linne), Р. Реомюр (R. Reaumur), Вильк (C. Wilke), Ш. Боннэ (Bonnet), Халлер (Haller), Ж. Бюффон (G.L. Buffon), Х. Гюйгенс (C. Huygens) и другие — заметили, что крупные организмы размножаются гораздо медленнее мелких, т.е. что *существует определенное соотношение между размножением живых организмов и их массой или их размером*. Исследования XIX в. еще более углубили это обобщение: была установлена необычайная скорость размножения микроскопических существ, факт, который уже предвидели ученые предшествующих веков. Х. Эренберг (C. Ehrenberg), по К. Линнею, произвел большое впечатление на своих современников, наглядно показав, что это размножение может быть выражено в планетном масштабе и сравняться с массами Мирового океана или самой планеты. Открытие микробов и установление их крайне важного значения для земного шара еще подтвердили это эмпирическое обобщение. Скорость размножения этих самых малых из известных организмов, которые находятся на пределе нашего видения, проявляется как наибольшая существующая скорость.

Но, признавая, таким образом, существование зависимости между размерами или массой организма, с одной стороны, и силой размножения — с другой, этому

явлению никогда, мне кажется, не давали сколько-нибудь точного выражения — математического и конкретного.

13. Такое конкретное математическое выражение, правда несовершенное, было с давних пор дано самому закону размножения.

Уже в XVIII в. натуралисты установили основной факт, что это *размножение следует законам геометрической прогрессии*. Этот факт был отражен много раз в научной литературе того времени, но при современном состоянии истории науки невозможно составить себе точное представление о ходе его развития. К. Линней имел о нем ясное представление.

Этот закон сразу показался очевидным, и в конце века Т. Мальтус (T. Malthus), выразив его по отношению к человеку, произвел большое впечатление и оказал глубокое влияние на социальные теории. Закон был впервые ясно выражен Мальтусом после того, как подобные представления в этой форме много раз, начиная с XVI в., привлекали ум человека. Но ни сам Мальтус, ни его предшественники или продолжатели не углубляли его и не выводили всех следствий, которые он в скрытом виде в себе содержал. Таким образом, ни сам Мальтус, ни экономисты, которые ему следовали, не приняли серьезно во внимание тот факт, что геометрическая прогрессия отражала не только размножение человека, но также и размножение всех других организмов. Эти последние прогрессии дают обычно числа гораздо более высокие, чем соответствующие числа для человека.

Средства существования человека, которые интересовали Мальтуса, относились в конце концов к живым организмам. Размножение этих последних соответствует всегда геометрической прогрессии, и арифметическая прогрессия увеличения средств существования, о которой говорил Мальтус, находится в коренном противоречии с этим свойством живых организмов.

Фактически человек в своем размножении никогда не может превзойти размножение организмов, которые служат ему пищей, так как их сила воспроизведения всегда гораздо больше, чем у человека. Будучи частью монолита жизни, человек не может в своих жизненных функциях, связанных с питанием, быть выделен из других живых организмов.

Рационализм XVIII в. здесь, как и в другом — в своих философских и социальных концепциях, заменил реального человека, неотделимого от своей космической среды, человеком абстрактным, независимым от среды, только отдаленным образом соответствующим своему наименованию.

Ничто не обнаруживает так хорошо состояние наших знаний в этой области науки, как история мальтузианских идей. Несмотря на большое значение, которое представляют в своих практических выводах идеи Мальтуса, напрасно было бы искать в огромном вековом творчестве этого движения обсуждения основного понятия, лежащего в корне его, — силы размножения организмов по отношению к области обитания общественного человека.

14. Много раз в течение веков старались математически выразить различные прогрессии размножения организмов. Это делали для насекомых, мелких млеко-

питающих, человека, для малых, микроскопических существ, ресничных инфузорий в первую очередь.

Имеются довольно многочисленные числовые данные, которым, однако, не придают того значения, какое они заслуживают в действительности.

Эти вычисления выявляют, без сомнения, общий факт: размножение всех организмов — многоклеточных и одноклеточных — может быть выражено различными определенными геометрическими прогрессиями.

Около середины XIX в. Ч. Дарвин (C. Darwin) [и А. Уоллес (A. Wallace)] высказывает этот факт в общей форме, которую надо признать эмпирическим обобщением большого охвата. Он установил, что каждый без исключения организм мог бы заселить всю земную поверхность, если бы условия среды были для него благоприятны.

Время, потребное для такого заселения, находится, очевидно, в соотношении с силой размножения (геохимической энергией) организма. Это время в общем очень коротко, как показал это Дарвин, подсчитав скорость размножения слона, существа, которое он, совершенно справедливо, считал наделенным минимальной силой размножения.

Это важное обобщение, которое является самой основой его идей о борьбе за существование, никогда не было изучено, по существу, ни им, ни другими.

В огромной дарвиновской литературе не находится, насколько мне известно, никакой сводной работы по этому вопросу, и мне кажется, что маленькая популярная статья проф. А. Брандта (A. Brandt) [1879 г.] остается с этой точки зрения одиночной[1].

15. Обычно эти вопросы затрагивались только случайно, при обсуждении каких- либо числовых примеров размножения живых существ, имея в виду дать только общее представление о величине *силы размножения*.

Сознание большой величины этой силы очень укоренилось в понятиях натуралистов о Вселенной, но ни следствия из этого обобщения, ни его место в системе органического мира никогда, насколько я знаю, не ставились на обсуждение.

Мы наблюдаем здесь то же самое состояние нашего сознания, как то, которое имело место раньше, до введения в наше миропонимание закона геометрической прогрессии размножения.

Молчаливое представление об исключительной величине силы размножения захватило нашу мысль и оста вило на ней неизгладимую печать. Но выводы, которые из него следуют, не сделаны.

Мы не сомневаемся, что эта величина не имеет других пределов, кроме условий среды; мы уверены, что любой организм, помещенный в благоприятные условия, даст в непрерывном ряду своих поколений неограниченное число новых существ. Другими словами, *мы представляем себе эту силу как подчиняющуюся правилу инерции*.

---

[1] *А. Брандт*. Числовое равновесие животных и борьбе за существование. [Оттиск из «Нивы»], 1879 г. — Прим. *А.Д. Шаховской*.

Но мы остаемся при этом первом важном шаге и не двигаемся здесь дальше по пути, открывшемуся перед нами.

16. Фактически сила размножения организмов и ее значение в истории Земли и самих организмов никогда серьезно не принимались во внимание в текущей работе биологов.

Можно убедиться в этом положении вещей, сравнивая изложение этой проблемы на текущий момент, сделанное выдающимися специалистами, такими, например, как Р. Лейкарт (R. Leukart, 1853), В. Генсен (V. Hensen, 1881), В. Маршалл (W. Marshall, 1924). В нем не видно никакого движения вперед.

Одним из следствий — наиболее досадным — такого положения вещей является отсутствие наблюдений. Ищешь напрасно точных указаний на числа во многих случаях, где легко было бы их иметь. Эти числовые данные кажутся маловажными, и ими не интересуются.

Почти всегда приходится пользоваться недостаточными и неполными данными.

Редко бывает возможность иметь в своем распоряжении числа достаточной точности, которые были взяты за основу для вычислений, по отношению к одному и тому же виду животного или растения — иметь, например, одновременно средний вес взрослых особей, их размеры или объем, среднее число особей или яиц одного выводка, среднее число поколений в течение точно отмеченного времени, среднее точное время половой зрелости, не говоря о других необходимых данных в особых случаях размножения. Так, например, для общественных насекомых, как термиты или муравьи, необходимо знать число роев в год, число яиц, которое откладывает матка, средний вес бесплодных особей, среднее число особей в сообществе (в муравейнике)...

Необходимые числовые данные широко изменяются в соответствии с бесчисленными частными случаями механизма размножения. Это, конечно, не облегчает исследования и отчасти объясняет большие пробелы, которые имеются в наших знаниях.

17. Надо искать некоторое объяснение этому положению вещей в психологии исследователей. Проблема не интересует натуралистов или кажется им недоступной при обычных научных средствах.

Но это отсутствие интереса и трудности работы не могут объяснить удивительного отсутствия некоторых конкретных данных, без которых нельзя обойтись, — *среднего веса* взрослых организмов в первую очередь.

Средний вес является данным первого порядка для вычисления геохимической энергии. Однако у нас почти абсолютно нет этих данных для целых отделов живой природы — главным образом для зеленых растений, но и для растений вообще.

Если эти указания более многочисленны для животных, они относятся к весу одной данной особи, редко — к среднему весу.

Только в некоторых специальных исследованиях, в одиночных случаях располагают точными в этом отношении числами. Есть многочисленные указания на вес животных, служащих пищей, в особенности домашних животных, но эти данные обычно не соответствуют требованиям науки. Это только приближенные числовые данные.

18. Получение этих данных не представляет, конечно, непреодолимых трудностей, но они не имеют приложения в текущей работе натуралиста, не интересуют ни морфолога, ни физиолога, не входят в систематические описания вида.

В систематических описаниях их заменяют указаниями размеров. Это не всегда так было. Прежние натуралисты ценили их выше. Так, например, у великого ученого XVIII в. П.С. Палласа имеются точные данные, которые напрасно было бы искать у его самых выдающихся последователей.

Введение указания среднего веса организмов в систематические описания живых организмов абсолютно необходимо с точки зрения проблем, которые нас интересуют. Введение их будет, конечно, представлять большой прогресс, улучшая коренным образом состояние наших знаний в такой важной области.

Можно заменить определение веса определениями объема и плотности организмов. Но это представляет еще большие трудности и выполняется лишь очень редко.

Вследствие этого приходится пользоваться приближенными данными, основанными на размерах организма, Это допустимо только благодаря тому, что плотности организмов очень близки друг к другу и немногим отличаются от плотностей йодных растворов.

19. Среди других числовых данных есть и такие, которые всегда интересовали натуралистов. Так, с давних пор установлено, что число выводков, детенышей, яиц, сроки возмужалости, число поколений и т.д. являются свойствами, характерными для каждого вида иди расы, и эти числа изменяются только в узких пределах.

Однако определение этих данных, требует средств и времени, которые не всегда находятся в распоряжении натуралистов. Эта работа требует или долгого наблюдения природы, или организации опытов в лабораториях. Эти определения не так просты, как, например, определения морфологических свойств.

Несмотря на недостаточную точность этих данных, количество их позволяет все же создать себе числовое представление о размножении в связи с механизмом биосферы.

Одно важное и точное эмпирическое обобщение может быть выведено из этой массы собранных научных фактов: *размножение одного и того же растительного или животного вида меняется сообразно условиям среды*. Оно является, в некоторой степени, функцией среды — функцией ее температуры, ее химического состава и т.д. *Но эта изменчивость очень ограниченна* и может быть всегда численно выражена[1].

Ее можно представить в точных числах максимумов и минимумов.

20. В последнее время можно констатировать значительный прогресс в области наших конкретных числовых данных о размножении. Этот прогресс вызван потребностями собственной жизни, которая вынудила общество дать необходимые средства для научных исследований в этой области.

---

[1] Современными наблюдениями установлено, что у некоторых животных, например у кенгуру, продолжительность беременности сообразно условиям среды может изменяться в больших пределах, что не противоречит выводу В.И. Вернадского, поскольку является исключением. — Ред. издания Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

Точные факты, не столь многочисленные, как Зто бы хотелось, но все же весьма ценные, были, таким образом, получены, начиная с конца XIX в., для некоторых отраслей живой природы, главным образом в отношении обитателей моря, а также насекомых-вредителей.

21. Таким образом, американские энтомологи школы Рилея (C. Riley) и В. Говарда (W. Howard), верные вековым традициям своей науки, временно забытым, — традициям Реомюра, ввели наблюдения этого рода в текущую работу энтомологов своей страны. Мало-помалу там собрали значительное количество фактов, которые до настоящего времени никогда не были, насколько мне известно, обработаны и систематизированы с общей биологической или геохимической точки зрения.

Однако важность этих наблюдений становится все более и более очевидной. Можно быть уверенным, что недалеко то время, когда число окончательно проникнет в эту область природы, которую оно явно регулирует.

Примеру американцев следуют другие страны, так как организация этих наблюдений в конечном счете обходится недорого, если принять во внимание их роль в борьбе с насекомыми—вредителями.

Эта работа возбуждает большие биологические и геохимические вопросы, связанные с размножением организмов, и открывает новые области знания.

Так, благодаря тесной зависимости, которая существует между земным растительным миром и насекомыми, введение числа в изучение этих последних неминуемо привело нас к важным числовым проблемам, к проблемам равновесия между организмами, к вопросам «гармонии» природы, которые занимали мысль натуралистов прежних поколений, К.М. Бэра в первую очередь, а затем были оставлены.

22. Относительно живого населения моря, которое составляет по своей массе преобладающую часть живого вещества, были собраны многочисленные, хотя и недостаточные, факты для рыб и для планктона.

Работы главным образом немецких, английских и американских лабораторий дали нам числа для рыб, употребляемых в пищу, которые послужили основой для вычислений. К сожалению, невозможно было установить достаточно точные средние числа. Работа пионера в этой области натуралиста XVIII в. И. Блоха (I. Bloch) над численностью икры рыб до сих пор еще не превзойдена.

Часто ищут напрасно факты, как, например, в произведениях французских и русских натуралистов, которые должны были бы им самим служить вехами на пути и которые ими оставлены без внимания, несмотря на основное значение их для решения проблем, стоящих перед натуралистами.

23. Количественное изучение планктона, благодаря толчку, который дал ему В. Генсен, неизбежно привело к количественному изучению размножения микроскопических организмов, в первую очередь протистов.

Были произведены некоторые, не очень многочисленные наблюдения и собраны данные, дающие некоторые численные представления о размножении диатомовых, пиридиней и жгутиковых. Их выявили главным образом немецкие и английские натуралисты. В. Генсен и Х. Лохманн (H. Lochmann) дали важные сводные работы.

Эти исследования ставят проблему размножения и изучают его не в максимальном его проявлении — в оптимальных условиях жизни, но реальное размножение, при котором значительная часть потомства уничтожается прежде, чем даст новое поколение.

Таким образом, в океане выявляется важное динамическое равновесие, образованное размножением (делением клетки), с одной стороны, и уничтожением новых клеток внешними силами — с другой.

Можно было все же доказать, что генезис этих протистов, который осуществляется клеточным делением, может быть реально выражен геометрической прогрессией с очень устойчивым численным значением для каждого вида.

24. Оказалось возможным углубить изучение проблемы только сочетанием наблюдения окружающей природы с лабораторным опытом.

Это вообще единственно правильный путь изучения Природы, который был открыт великими мыслителями XVII столетия. В интересующей нас области это были энтомологи, которые первыми на него вступили.

Конечно, мы еще далеки от того, чтобы иметь окончательные результаты, но уже получены ценные данные, которые позволяют упростить сложные естественные явления и установить таким образом достаточно точные определения и понятия.

В первую очередь опытами над бактериями, ресничными, диатомовыми удалось установить, что размножение действительно следует геометрической прогрессии и что эти прогрессии изменяются соответственно видам, являются характерными для каждого из них.

С другой стороны, достигнута возможность выделить различные формы размножения.

25. Опыты нас убеждают, что следует различать: 1) потенциальное размножение (потенциальную возможность размножения), 2) оптимальное размножение и 3) дей-ствительно существующее среднее размножение.

Мёбиус (C. Möbius, 1877) первым, как мне кажется, подчеркнул важность потенциального размножения, которое может быть рассматриваемо как максимально возможное для данного организма размножение.

Мёбиус указал его для улиток, подсчитывая число икринок, которые они откладывают, независимо от их реального потомства.

Он следовал в этом старой традиции натуралистов, которые выражали таким образом силу размножения насекомых (например, Р. Реомюр) или рыб (И. Блох).

Потенциальное размножение указывает на существование предела размножения одной особи, предела, обусловленного ее организацией.

В случае, который мы имеем с простейшими, когда жизнь индивида не имеет определенного конца, потенциальное размножение также не имеет определенного предела.

26. Надо строго различать *оптимальное размножение и потенциальную возможность размножения*. Последняя — это максимальное размножение, наиболее быстрое, наиболее значительное по числу произведенных особей, оно дости-

гается в оптимальных условиях жизни — в наиболее благоприятных условиях температуры, питания, всей окружающей среды в целом.

Силу размножения простейших, которое происходит делением, измеряют обычно числом поколений, которые они могут дать в течение двадцати четырех часов.

Этот метод может быть применен, как мы это увидим, ко всем другим организмам. Число поколений за сутки в геометрической прогрессии с членом 2 в формуле является важной постоянной, характерной для каждого вида. Я буду ее называть в дальнейшем всегда Δ .

Оптимальное размножение определяется максимальной Δ для данного вида.

Обычно ее не знают, и не всегда легко или даже возможно вычислить Δ из тех наблюдений, которыми мы располагаем. То, что обычно наблюдается, это *реальное размножение*, которое, как мы видели (§ 19), изменяется 1) в зависимости от свойств среды или 2) от свойств организма.

Реальное размножение, характеризуемое максимальной Δ, является наиболее близким к оптимальному размножению и в предельном случае может с ним совпасть.

27. Потенциальное и оптимальное размножение должны как раз явиться предметом нашего исследования, так как именно они, приводя факты к общему масштабу, позволяют нам *количественно сравнивать геохимическую энергию различных организмов*. Они выражают максимальную геохимическую энергию каждого вида. По-видимому, эта величина постоянная и почти неизменная.

Существование предела максимального размножения характерно для каждого вида, является эмпирическим обобщением, которое служит основой всех дальнейших выводов.

28. Существование предела является очевидным для всех организмов с ограниченной продолжительностью жизни. Оно также не вызывает сомнений для «бессмертных» организмов, таких, например, как протисты или гигантские хвойные.

Оно дает о себе знать во многих случаях, например у протистов, во влиянии повышения температуры на их размножение.

Для ресничных инфузорий существует ряд замечательных опытов Мопа (Maupas, 1887–1889). Он обнаружил, что у всех видов Δ резко изменяется при определенной температуре. Значение максимальной Δ повышалось в его опытах до 5 и 7. Этот последний случай наблюдался для Leucophrys patula. Мопа нашел, что при температурах:

6-8 °C	Leucophrys дает	1	поколение	в	сутки
8-11 °C	″ ″	2	″	″	″
12-14 °C	″ ″	3	″	″	″
14-17 °C	″ ″	4	″	″	″
17-20 °C	″ ″	5	″	″	″
20-23 °C	″ ″	6	″	″	″
23-26 °C	″ ″	7	″	″	″

Большее повышение температуры было вредно для организма. Можно сделать заключение, что Δ, равная *семи*, является максимальной для Leucophrys и может увеличиться только вследствие улучшения питания или дыхания.

Однако все показывает, что температура оказывается столь могущественным фактором размножения, что никакое другое изменение условий среды не может оказать заметного влияния, если питание и дыхание благоприятны (как в опытах Мопа).

Было найдено, что влияние повышения температуры на жизнь (размножение) клеток многоклеточных — явление, по-видимому, идентичное с тем, о котором мы говорим, того же порядка, как его действие на ход химических реакций («температурный коэффициент»). Улучшение питания и дыхания соответствует усилению химических реакций и, следовательно, не может заметно изменить максимума размножения, вызванного повышением температуры.

29. Можно вычислить максимальный предел Δ для Leucophrys, опираясь на другие соображения. Можно ее вывести из соотношения, которое существует между размножением и размерами организма, о чем я говорю дальше. У сферических или цилиндрических организмов с размерами Leucophrys'а Δ может достигать значений между 4,8 и 6,8. Это приближение к числам Мопа достаточно.

Итак, можно заключить, что Δ, равная 7, данная Мопа, представляет максимальный предел для Leucophrys. Дальше мы увидим, что число 7 является приблизительным (§ 33).

Изучение других случаев оптимального размножения в зависимости от температуры подводит нас к такому же заключению — к существованию предела размножения, который не может быть превзойден данным организмом. Так, Stylonichia pustula, по Мопа, даст при 24–28 °C *пять* поколений в 24 часа. Можно вычислить, что один сферический организм, диаметр которого соответствует размерам Stylonichia, может достигнуть Δ, равной 4,65–5,11 поколения (см. § 70).

30. Этот твердый предел размножения, в сущности, не требует экспериментальной проверки, ибо он опирается на явление логически более могущественное — на совокупность бесчисленных эмпирических фактов.

Он является новым выражением прежнего обобщения, которое указывало на существование зависимости между размерами организма и его силой размножения (§ 12), которое скрыто содержалось в обобщении Дарвина (§ 14).

Однако необходимо углубить и продолжить опыты, чтобы уточнить определение и вывести из них новые следствия.

К сожалению, явление размножения почти не проанализировано с этой точки зрения.

Между тем этот анализ приводит к важным заключениям.

31. Среди этих последних то, которое рассматривает *существование максимального значения* Δ *для любого живого вещества*, кажется мне одним из самых важных.

Это заключение, мне кажется, вытекает из описанных фактов, но, насколько я знаю, оно никогда не было ясно сформулировано. Это — логическое заключение о

зависимости между размерами организма и силой его размножения. Размеры же организма неизбежно имеют постоянный предел, связанный со структурой вещества.

Мы увидим, какое важное значение имеет максимальная величина Δ в теории геохимической энергии.

Максимальное число поколений[1], производимых в 24 часа, дается бактериями, их Δ достигает 63.

Как раз самые маленькие бактерии достигает этого предела, например вибрион холеры.

Величину Δ определяют, отмечая продолжительность деления клетки. Непонятно, как проходят мимо этого удивительного явления, не придавая ему того большого значения, которое оно имеет.

Наблюдения, сделанные в этом направлении, неизбежно являются неполными и лишь приближенными. Невозможно все же не отметить их, ибо самый факт является поразительным, но в него глубоко не вдумываются.

В учебниках бактериологии дают как минимальную продолжительность деления одной бактерии промежуток 17–25 минут. Согласно оригинальным статьям, средние числа не превышают 22–24 минуты. ,

Этот минимальный промежуток времени размножения должен, конечно, иметь *большое биологическое значение*, и было бы очень важно его точно установить. Существуют ли в действительности интервалы в 17 минут как среднее время деления клетки? Не представляют ли они только индивидуальные отклонения?

32. Из многочисленных фактов выявляется другое обобщение, значение которого для изучаемой проблемы также являетя основным. Обычно его обходят молчанием. Оно указывает на существование своеобразной *зависимости между ходом времени и размножением, различной для каждого вида или расы*.

Оно отчетливо проявляется в различии величины Δ по видам, даже в случае, когда Δ соответствует числу поколений.

Мы видели, что Мопа определял Δ для Leucophrys (§ 28) простыми числами, которые должны были оставаться неизменными и могли совпадать для разных видов инфузорий; он дает для Δ только одно значение — число поколений в сутки — и не находит ничего необычайного в том, что это число будет всегда одним и тем же для различных видов, как оно является одним и тем же для многочисленных и самых разнообразных видов птиц, млекопитающих, рептилий и рыб в продолжение одного года.

Последующие более полные наблюдения сильно изменили картину. Так, Мопа дает:

для Paramaecium aurelia Δ — 1 и 2,

для Paramaecium caudata Δ — 1.

Более точные наблюдения, основанные на опытах со множеством поколений, дали следующие числа:

---

[1] В действительности, как мы увидим, Δ не всегда совпадает с понятием числа поколений в сутки (§ 70).

Paramaecium aurelia Δ — 1,73 (Х. Вудруф, Woodroof)

caudata Δ — 1,108 (С. Метальников)

Δ, равная 1,73 Вудруфа, соответствует 2 Мопа.

Изменение того же порядка происходит во всех других случаях, лучше изученных. Приходится признать, что целые числа для Δ, одинаковые для различных организмов, не отвечают действительности. Они только приблизительны.

33. Такое же заключение должно быть сделано, исходя из других соображений, из анализа единицы времени в первую очередь. Эта единица — точно 24 часа — произвольна. 24 ч 0′ 00″ приближаются к периоду суточного оборота земного шара, но они не совпадают с ним. Это была бы игра случая, совсем маловероятная, если бы величина Δ, выраженная в этих единицах, приобрела простое выражение, независимое от организма, какое ей приписывал Мопа.

Далее, если бы единица — сутки — была строго определена по отношению к естественному явлению — к полному суточному обороту земного шара, Δ не могла бы совпадать у различных организмов, за исключением невероятного случая тождества их размеров. Это — очевидное следствие существования зависимости между размерами организма и его силой размножения.

Строго размеренные значения Δ, равные целым числам (1, 2, 3 и т.д.), показывают только, что интервалы между двумя последовательными поколениями этих простейших (протистов) повторяются 1, 2, 3 раза в продолжение суток. Такие же замечания следует сделать по поводу размножения более сложных организмов, например птиц, млекопитающих, рептилий и вообще всех тех, у кого размножение происходит одно и то же число раз в течение года и каждый раз дает одно и то же число особей. Год, принимаемый равным 365 дням 0 ч 0 мин 00 с, представляет произвольную единицу, близкую, но не тождественную полному годовому обороту нашей планеты.

В этом случае средний интервал между двумя поколениями не может быть никогда равен 365 дням; он должен быть близок к этому числу и отличаться у разных организмов.

Точные наблюдения здесь полностью отсутствуют. Но это утверждение является логическим следствием существования зависимости между силой размножения этих организмов и их размерами.

34. Необходимо отметить в первую очередь опыты С. Метальникова и Х. Вудруфа над ходом размножения у простейших путем бесполого деления клеток. Эти опыты были поставлены с целью уяснить явление размножения с точки зрения самого механизма процесса, что имеет лишь косвенное отношение к проявлению процесса размножения в биосфере. Эти опыты дали нам, однако, новый довод в пользу правильности идеи об инерции (потенциальной энергии), присущей энергии размножения при ее действии в биосфере. Была высказана гипотеза, что бесполое размножение не может продолжаться бесконечно, т.е. что не только изменения среды могли служить препятствием к его развитию. Другими словами, утверждали, что нельзя себе представить, чтобы размножение шло всегда только силами, подчиненными одной инерции (потенциальной энергии).

Опыты Метальникова, Вудруфа и других доказывают обратное этому предположению.

Подобное предположение никогда не высказывалось по поводу полового размножения, неограниченная продолжительность которого не вызывает сомнения.

Механизм его представляется всегда одним и тем же, и его проявление идет согласно условиям окружающей среды.

Если есть в организме какое-то внутреннее регулирующее действие, независимое от влияния среды, оно не проявляется в общем ходе явления в земной коре.

35. Мы изучали до сих пор размножение организмов, не принимая во внимание заселенной ими среды.

Но прежде чем заняться этими последними проблемами, еще мало затронутыми современной наукой, было бы полезно дать обзор эмпирических обобщений, свободных от всяких гипотез, которые удалось науке собрать до настоящего времени.

В нашем дальнейшем изложении мы будем опираться только на них и не будем считать себя вправе пренебрегать ни одним из них.

Все эти обобщения основываются на *числе*, которое является основой всего явления.

Характер явления, глубоко математически-арифметический, если можно так выразиться, проявляется здесь не менее определенно, чем в чисто физических и астрономических явлениях Космоса.

Числа, которые здесь встречаются, числа поколений, роев, яиц или мальков одного выводка, константы размножения, которые могут быть из них выведены, и все числа, которые вообще характеризуют размножение, всегда математически связанные между собой, являются числами определенными, такими же точными и неизменными, как числовые физические константы вещества, энергии или атомов или астрономические константы движения звезд и их притяжения, а также и те свойства, которые могут быть из них математически выведены.

36. Обобщения, о которых мы говорим, следующие:

1. Существует зависимость, сущность которой не выявлена, между размерами (т.е. весом и объемом) организма и его силой размножения; эта сила обратно пропорциональна размерам.

2. Размножение всех организмов без исключения может быть выражено геометрической прогрессией.

3. Размножение всех организмов имеет предел только благодаря условиям среды, в которой они живут (инерция процесса, потенциальная энергия размножения), следовательно, если бы условия позволили, каждый организм мог бы в промежуток времени, пропорциональный силе размножения, распространиться по всей данной поверхности и заполнить весь данный объем. Каждый вид и раса могли бы, исходя из этих положений, полностью покрыть земную поверхность.

4. Размножение каждого вида или расы может быть выражено различными и определенными для каждого из них числами — числами, которые изменяются под влиянием среды только в некоторых постоянных, совершенно определенных пределах.

5. Для каждого вида и каждой расы существует максимальное размножение, которое никогда не может быть превзойдено. Оно дано потенциальным или оптимальным размножением. Это константа, независимая от среды.

6. Существует предел максимального размножения для живого вещества вообще. Он зависит от размеров организма. Минимальные размеры имеют бактерии[1]. Максимальное число поколений в течение одних суток определяется этим пределом, и промежутки времени, через которые оно происходит, а также и число поколений — Δ — должны иметь большое биологическое значение и служить определениями для процесса размножения.

37. Наши научные познания о том, как отражается процесс размножения в окружающей среде, еще более недостаточны, чем наши познания о самом явлении.

А между тем изучение этого имеет большое практическое значение, так как оно касается проблемы *плодородия и плодовитости* живых организмов, которая глубоко интересует человека в его повседневной жизни.

Обычно ее изучают с точки зрения чисто практической. Ясно, что обобщения, полученные таким образом, малочисленны и довольно смутны.

Никогда проблема не изучалась в целом и глубоко не разрабатывалась.

Плодородие (или плодовитость) изучается по отношению к определенной поверхности или к определенному объему. Обычно ее приводят на 1 га — 10^8 см^2.

Его можно оценивать массой органического вещества, произведенного живым веществом, или массой самого живого вещества, созданного в определенный промежуток времени. Эта масса находится в очевидной зависимости от размножения организмов, собственно от геохимической энергии, так как геохимическая энергия — в конечном счете — есть размножение организма, взятое в егоотношении к земной поверхности.

38. Оценку плодородия почвы стали давать по отношению к наземным растениям и к домашним животным, в особенности к скоту. Таким же образом определяют продуктивность на гектар садков для рыб и устричных банок.

С другой стороны, в исследованиях по биологии моря удалось вывести баланс моря, вычислить количество на гектар органической массы, образованной планктоном, растительностью бентоса, рыбами, животными бентоса вообще.

Интерес, возбуждаемый этими исследованиями, быстро растет, и можно ожидать здесь в короткий промежуток времени важных результатов[2].

39. С точки зрения, которая нас интересует, необходимо подчеркнуть общее впечатление, которое остается от этих исследований; это впечатление не может еще быть выражено в очень точной форме, но оно нас приводит, по-видимому, к новому важному обобщению. Это обобщение указывает на существование определенного предела плодородия на всей земной поверхности, предела, который

---

[1] В 1925 г. В.И. Вернадский еще не знал о существовании вирусов. — Ред. издания Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

[2] Такие результаты были получены исследованиями Л. А. Зенкевича, В. Г. Богорова, М. Е. Виноградова, А.В. Жирмунского и ряда других русских и зарубежных ученых. — Ред. издания Живое вещество и биосфера / В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с..

находится в зависимости от энергии, которую поверхность получает от Солнца и которая всегда одинакова для одной и той же поверхности, будь она морской или наземной. Оценивая продуктивность моря на гектар, принимают во внимание не только один верхний слой воды — область распространения планктона, но всю массу воды, которая заполняет гектар от дна до поверхности.

40. Уже больше ста лет, как проблема плодородия почвы — в этом смысле — была (как мне кажется, в первый раз) количественно рассмотрена А. Гумбольдтом (A. Humboldt) и Ж. Буссенго (J. Boussingault). Этот последний получил потом в замечательных работах числовые данные и выразил в числах ту зависимость, которая существовала между работой зеленого растения, выраженной в массе органического вещества, которое оно производит, и солнечной энергией, которую оно получает. Он обнаружил, что существует постоянное отношение между энергией Солнца, которую получает поверхность гектара, и массой органического вещества, которую жизнь зеленых растений может создать на этой поверхности.

Эта масса органического вещества создается воспроизведением, размножением растений. То, что интересовало Ж, Буссенго и других исследователей, его современников или преемников, — это были практические агрономические вопросы, существование пределов для жатвы. Измеряли зерна, солому и т.д., а не всю массу организмов, которую они представляли. Однако отвлеченно возможно было бы вычислить саму живую массу организмов и вычислить в весе размножение, для которого жатва дает неполное и неточное выражение.

41. Из этих опытов может быть выведено основное следствие, касающееся раз-множения. Они показывают, что масса органического вещества, которая образуется на гектаре поверхности, определенна и постоянна. То же должно быть и по отношению к размножению.

Но эти опыты, по-видимому, показывают больше: они выдвигают новые проблемы, касающиеся размножения, и имеют глубокое значение для всей области явлений, которая нас интересует.

Если эти проблемы еще и не разрешены, они вызывают размышления огромного охвата.

Из опытов Ж. Буссенго и других, по-видимому, вытекает, что процент солнечной энергии, захватываемый зелеными растениями, одинаков для всех зеленых растений и представляет собой *хлорофилльную функцию*.

Если количество энергии, удерживаемой зеленым растением, всегда находится в одинаковой пропорции к энергии, которую оно получает от Солнца (а эта последняя, по-видимому, неизменна), если это количество одно и то же для всех зеленых растений, то масса органического вещества на гектар должна находиться в одинаковом отношении к весу у всех зеленых растений.

В таком случае следует признать, при различном и специфическом для каждого вида или расы размножении, существование независимости между массой растения (его весом) и его размножением.

Одинаковое количество органического вещества на гектар может быть произведено организмами различного веса только в том случае, если их число обратно пропорционально их весу. Другими словами, сила *размножения организмов — зеленых растений — в этом случае должна быть обратно пропорциональна их весу*.

Я уже отметил, что средние веса зеленых растений (включая корни) не были известны (§17), но одним из наиболее древних обобщений в изучении размножения является то, что это размножение пропорционально размерам организма, оно тем больше, чем меньше организм. Принимая во внимание, что плотность живых организмов в общем близка к одной и той же величине, можно быть уверенным, что размножение действительно обратно пропорционально их весу.

Абсолютное постоянство массы органического вещества на гектар не является, конечно, непременным следствием устойчивой пропорциональности между размерами организма и его силой размножения. Но колебания этой массы не могут быть, во всяком случае, велики.

Эти явления известны только в самых общих чертах: 1) существует некоторая пропорциональность между весом организма и его силой размножения; 2) энергия, которая может быть использована зеленым растением, имеет постоянный предел.

42. Необходимо возможно быстрее прийти к более точным заключениям, ибо положение зеленых растений в общей массе вещества является исключительным благодаря тому, что существование почти всех других организмов возможно только благодаря их существованию.

Надо установить средний вес зеленых растений и рассмотреть заново вопрос о максимальной продуктивности на гектар не с точки зрения узкого утилитаризма, который господствует в настоящее время, но во всей полноте, как это требует проблема. Это надо сделать ввиду научных и огромных философских следствий, которые из этого последуют. Ясно, что их применения к общественной жизни будут очень важны. Неполные определения, которыми мы обладаем, могут нам дать о них только отдаленное представление.

В настоящее время существуют только предположения, но все эти предположения ведут нас в том же направлении. Это постоянство, конечно, знаменательно; оно неслучайно.

43. Я считаю, что это Ж. Саго (J. Sagot) первым указал, что, каким бы способом ни рассматривали *годовую продуктивность сухого органического вещества, приходят в среднем почти к одним и тем же значениям* для хороших урожаев. Он показал для злаков, картофеля, насаждений деревьев.

По-видимому, эти определения, так же как другие, более ранние, показывают не неизменное число, но количество, которое изменяется в довольно узких пределах. Это количество близко к $(1{,}5\text{-}2{,}0)\cdot 10^6$ г на гектар сухого органического вещества. По-видимому, это количество, выраженное в весе живого организма, богатого водой, будет давать более крупные отклонения.

Весьма вероятно, что эти определения наших культур не дают еще полного выражения продуктивности, так как при этом принимают во внимание не все

организмы, которые находятся на гектаре, в частности не учитывают организмы почвы[1].

Но существование определенного предела массы живого вещества, которая может быть образована на гектаре, — несомненно в конечном счете — кажется крайне вероятным. Возможно, что этот предел кажется различным для разных культур вследствие неизбежных пропусков, которые происходят из-за невозможности ввести в подсчет сухого органического вещества все организмы, которые находятся на гектаре.

44. Неожиданное наблюдение, которое было недавно совершенно независимо сделано, подтверждает это заключение.

Работы английских, датских, немецких ученых по отношению к морю, таких, как Брандт, В. Генсен, Бойсен-Иенсен (P. Boysen-Jensen), Петерсен (C. Petrsen), Джонстон (J. Jonstone), В. Хердман (V. Herdmann) и другие, позволяют нам утверждать, что продуктивность моря на гектар (в указанном смысле, § 39) дает почти то же количество сухого органического вещества, как и лучшие урожаи суши[2].

Если бы позднейшие более точные работы подтверждали эти первые результаты, было бы достигнуто крупное обобщение, которое доказало бы, что масса земного живого вещества, скопляющегося на поверхности планеты, всегда одинакова; она находится в явной зависимости от солнечной энергии, которую получает эта поверхность.

Из этого будет следовать, что размножение организмов должно не только быть обратно пропорционально весу взрослого организма, но что должна существовать зависимость между размножением всех организмов, т.е. что должно существовать максимальное размножение, которое не может быть превзойдено всем живым веществом в целом.

Я вернусь еще к обсуждению этой возможности.

45. Было время, когда в связи с идеями Мальтуса возбудило большой интерес сообщение Ю. Либиха (J. Liebig), касающееся продуктивности пахотных земель.

Либих доказал, что продуктивность урожая после достижения достаточно высокого уровня повышалась только очень медленно. Каждое новое улучшение после этого уровня дается все более и более дорогой ценой, т.е. дает результаты всегда меньшие по отношению к одному и тому же затраченному усилию. Другими словами, существует предел продуктивности (плодородия) земли, и этот предел почти достигается хорошими урожаями[3].

---

[1] W. Vernadsky. La géochimie. P. 1924. P. 276, 283.

[2] Как было выяснено позднее, продуктивность биомассы на гектар морской поверхности колеблется в огромных размерах, увеличиваясь в десятки раз в прибрежных зонах по сравнению пелагическими частями океанов, особенно, если в этих прибрежных зонах наблюдается явление апвелинга, т.е. подъема из глубин водных масс, богатых фосфором и другими питательными для планктонных водорослей веществами. —Ред. издания Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

[3] [Требует большей энергии (закон убывающего плодородия)]. — Ред. издания Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

Это наблюдение было подтверждено позднейшими исследованиями, но оно не принесло нам ничего нового. Факт, на который оно указывает, является следствием существования предела размножения для каждого вида живых организмов, — явление, которое мы будем всегда встречать на своем пути.

46. Многочисленные проявления того же факта встречаются везде при изучении плодородия в связи с биосферой. Таким образом, существует предел продуктивности прудов или садков для рыб, который не может быть превышен и который находится в очевидной зависимости от свойств среды — водных бассейнов и размножения рыб. Существует предел для количества мяса, которое может быть получено с гектара, — предел, который определяется, с одной стороны, размножением животных (скота, кроликов, лошадей) и, с другой стороны, конечно, размножением растений, которые служат им пищей. Существует предел для количества пчел, которые могут жить на данной площади, в зависимости от количества медоносных растений и т.д.

Мы вступаем здесь в оставленную наукой область гармонии, связей между различными видами живого вещества, «цепей жизни», можно сказать.

Эти проблемы находятся в несомненном численном соотношении с размножением, различным сообразно с различными видами организмов. Их можно будет разрешить только после решения проблемы самого.размножения.

3. ХОД РАЗМНОЖЕНИЯ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА В БИОСФЕРЕ

47. Постараемся дать явлению размножения живых существ, рассматриваемому в перспективе биосферы, научное описание, насколько возможно общее.

Постараемся совершенно свободно взглянуть на то, что происходит вокруг нас каждое мгновение, постараемся освободить наши представления от всей рутины, которая закрывает всем известные обыденные явления, связь которых с наиболее грандиозными астрономическими явлениями утеряна для нас.

48. Мы открываем тогда в механизме биосферы явление движения материальных тел, имеющих определенную массу и определенный химический состав: это «всюдность жизни», проникновение всюду живых существ, «растекание» их в биосфере путем их размножения.

На первый взгляд это явление как будто не имеет подобных среди бесчисленных явлений Вселенной.

На самом деле происходящие таким образом движения имеют скрытую для нас глубокую аналогию с привычными для нас явлениями, при первом взгляде на них непохожими. Мы должны сделать большое логическое усилие, чтобы уловить эту аналогию, и результат нашего рассуждения нас удивляет, настолько мы привыкли рассматривать как различные эти явления, которые должны быть объединены.

Это явление маленьких нарождающихся существ повторяется в течение мириада лет всегда с одной и той же математической правильностью. Оно, очевидно, находится в связи с действием солнечного излучения, которое, освещая поверхность нашей планеты, заполняет ее непрерывными пучками энергии.

Поскольку мы можем изучить это излучение в его столь разнообразных проявлениях, оно всегда остается одинаковым — стабильным и неизменным для каждого квадратного сантиметра в годовом обращении нашей планеты.

49. Вокруг нас маленькие существа входят каждое мгновение и без перерыва фактом своего возникновения в водоворот движения; Они зарождаются на поверхности суши, во всех малых или больших водоемах ее поверхности, даже внутри самих живых организмов.

*Они вступают в движение самым актом своего рождени*я, ибо эти новые материальные тела, если даже они не имеют самопроизвольного движения, которое было бы им свойственно, должны найти новое, незанятое место, которое им подходит с точки зрения их особенностей). Они выбрасываются наружу телами, которые их порождают, это выбрасывание может быть быстрым, производя на нас впечатление взрыва, или может быть крайне медленным, как бывает в результате отпочковывания или прорастания, но всегда без исключения движение, произведенное таким образом, не является случайным. Оно строго определено числами, которые характеризуют энергию образования этих тел (механизм размножения), расстоянием, которое они должны преодолеть (в зависимости от размеров организма и механизма его питания), и конечной массой, которой они достигают (объем и вес новорожденного и взрослого). Это движение может быть выражено законами механики и энергетики таким же образом и с такой же безошибочностью, как движение звезд и частиц космической пыли, газовых частиц или материальных предметов, которые падают на землю.

50. Движение всегда с одинаковой правильностью — правильностью, которая может и должна быть выражена математически. Матка термитов, например, откладывает без перерыва на определенном протяжении лет определенное число яиц в минуту — иногда 60. Она безошибочно дает, если это позволяет ей среда, столько яиц в день, сколько в нем существует секунд — 86 400 в среднем. Эти яйца тотчас забираются и выносятся наружу термитами-рабочими.

Это движение правильно в том же смысле, как правилен механизм наших обычных часов или песочных часов. В этих последних зерно песка регулярно падает каждую секунду, так же как каждую секунду выбрасывается — рождается — яйцо термита. Энергия движения в обоих случаях является функцией массы (веса зерна песка и яйца) и их размеров — в предельном случае, поверхности, которая им необходима, чтобы поместиться.

Масса и размеры организма увеличиваются по мере развития яйца до состояния взрослого существа. Следовательно, конечная энергия размножения будет больше в соответствии с этим конечным эффектом роста.

51. Везде и всегда вокруг нас в биосфере происходит такое движение. В водных частях поверхности земного шара оно наиболее интенсивно. Именно здесь особенно сконцентрированы вновь появившиеся бесчисленные мелкие индивидуальные тельца, которые, завладевая местом в мире, *двигаются* с определенной и постоянной скоростью.

Если бы водная масса покрыла всю поверхность Земли и «Панталасса» (Panthalasse) Э. Зюсса (E. Suess) действительно существовала, эти маленькие существа вследствие движения, произведенного их рождением, совершили бы в определенное время «кругосветное путешествие», т.е. полный оборот вокруг твердого ядра земного шара в водной среде, которая его покрывала. Если условия среды не позволяют фактически совершить этот оборот, все же сила, которая могла бы его произвести и которая заложена в организмах, существует и проявляется как потенциальная энергия, насколько это возможно в условиях среды.

Это явление столь постоянное, столь определенное, столь неизменное в своем проявлении, как вращение, которое происходит вследствие всемирного тяготения; вращение частиц космической пыли или газов вокруг более крупного небесного тела, например вокруг Земли в областях, расположенных над стратосферой. Причины движения, конечно, различны в обоих случаях. Но движения всегда могут быть выражены языком одних и тех же понятий, относящихся к механике. Каждое движение может быть определено массой частиц, которые принимают в нем участие, и расстоянием, которое пробегают эти частицы. Движение вследствие размножения организмов находится в очевидном соответствии с их размерами, так как оно является функцией «места в мире» на земной поверхности, которое должны занимать эти организмы, чтобы существовать.

Сила размножения и скорость распространения жизни должны быть, следовательно, тем больше, чем размеры организма будут меньше.

52. Это движение заполняет *Мировой океан*. Мы наблюдаем его в его беспрерывном проявлении в *планктоне*, который покрывает всю поверхность океана и всю водную поверхность биосферы вообще. Он простирается на миллионы и миллионы квадратных километров.

Микроскопические одноклеточные существа преобладают в нем. Эти клетки порождают новые клетки, делятся с постоянной числовой правильностью, которая изменяется соответственно видам и условиям среды. В средних господствующих условиях температуры и питания океана наших краев каждая клетка раздваивается, делится на два организма один раз в два или три дня. Повышение температуры и улучшение питательных качеств воды могут резко увеличить скорость процесса, но это ускорение не случайно и всегда может быть вычислено заранее. Существа, таким образом создававшиеся, которые могут быть уничтожены только силами, действующими вне их, могли бы в несколько десятков дней, если бы среда это им позволила, заполнить непрерывным и тонким слоем толщиной в 1 организм всю земную поверхность.

Это движение, действие которого, как мы видим, может быть огромным, производится с той же правильностью, как движение астрономического тела.

53. Эти организмы не смогут, конечно, достигнуть своего максимального расцвета.

Среда, которая их окружает, служит этому препятствием. Они дают поколения, которые находятся в строгой зависимости от сопротивления среды и число которых так велико, как это позволяет среда. Это видно на каждом шагу. Так,

время от времени поднимаются волны жизни, которые в несколько часов производят миллиарды вновь рожденных организмов и покрывают ими пространство в тысячи и тысячи квадратных километров моря. Когда температура падает, зимой в умеренных или арктических областях, размножение понижается или прекращается. Но всегда возможно вычислить движение, которое проявляется таким образом, и массы маленьких тел, вновь при этом появившихся.

54. В той же самой среде беспрерывно производится движение того же порядка со скоростью еще большей. Мельчайшие существа — бактерии быстро розмножаются в неизмеримых количествах в этом водном бассейне. Они дают десятки поколений вдень. Бактерии объемом 10^{-12} $см^3$ (когда их форма приближается к форме шара, их диаметр достигает $1{,}25–10^{-4}$ см), которые всегда там находятся, как это показал М. Фишер, могут дать в течение одного дня до 63 поколений (62,84), и они их неминуемо дают, если среда не ставит им в этом препятствий.

У бактерий это движение может быть более интенсивным или более медленным, соответственно условиям среды, но оно имеет место всегда и гораздо более энергично, чем у организмов планктона.

55. Эти микроскопические существа характеризуют океаническую среду, водные бассейны земной коры вообще. Их размножение, беспрерывное чрезвычайно быстрое движение новых мельчайших существ отличают водные области биосферы от областей суши.

Размножение этих микроскопических существ образует основу жизни всех других организмов океана — миллионов и миллионов. Более крупные существа сосредоточены по большей части на глубине и по соседству с берегами бассейнов, в очевидной связи с сушей.

Существуют определенные числовые зависимости между различными массами живого вещества, которые они могут образовать. Эти массы не случайны: жизнь одних построена на уничтожении других. Для того чтобы они могли существовать одновременно, должно установиться динамическое равновесие между их массами.

Это равновесие находится в очевидной зависимости от числа особей двух видов организмов.

Эти числа выражают отношение, которое существует между силами их размножения.

Это размножение тем более медленно, чем организм крупнее. Вследствие этого факта движения больших организмов, которые соответствуют их распространению и массам вещества, которые они собирают, всегда более медленны, чем аналогичные движения мелких организмов, которые служат основой их жизни.

Рыбы, млекопитающие, ракообразные, водоросли, иглокожие, черви и все другие бесчисленные морские существа принимают всегда участие своим размножением в этом непрерывном движении. Некоторые из них, как рыбы и млекопитающие, достигают больших размеров, порядка 10^1 и даже 10^2 метров; энергия их распространения соответствует движению масс, которые достигают сотен тонн.

Это движение, которое реально существует, обыкновенно не замечается, но именно оно фактически определяет аспект жизни моря, который нам привычен.

Именно оно определяет число живых индивидуумов, распределение организмов в различных областях океана, именно оно в конечном счете образует основу для всюдности жизни в этих водных массах…

Именно это движение в действительности определяет всемогущество жизни в истории нашей планеты, а не стихийные передвижения организмов — не миграции рыб или ракообразных, например, которые при первом взгляде, когда мы начинаем наблюдать жизнь моря, бросаются нам в глаза.

Движение этого крупного населения, которое непрерывно вырастает и вновь исчезает, гораздо менее энергично, более медленно, чем движение, производимое рождением микроскопических существ, которые образуют основу жизни моря.

Если, как это мы увидим в дальнейшем, движение микроскопических существ должно быть охарактеризовано скоростями, которые соответствуют десяткам тысяч и тысячам сантиметров в секунду, движение более крупных организмов замедляется до десятых долей сантиметра в секунду, как мы это наблюдаем у больших китообразных.

56. *Суша* — континенты, острова, почти вся без исключения суша, — пронизана этим самым движением до самых высоких горных вершин, льдов и снегов полярных областей. Жизнь везде, и размножение организмов происходит почти во всех местах, которые она захватывает. Возможно, что только совсем незначительный процент пространства суши остается в стороне от этого движения или только случайно, время от времени, становится местом его деятельности. Несомненно, больше 95% земной поверхности суши представляют поле размножения организмов.

57. Аспект этих явлений очень отличен от того, что наблюдается в водных бассейнах.

Здесь преобладают не микроскопические организмы, одаренные большой скоростью распространения жизни — большой химической энергией, но главным образом автотрофные организмы — организмы, имеющие хлорофилл.

Среди этих организмов, первостепенное значение которых для существования всей живой природы так велико, одноклеточные водоросли планктона составляют господствующую массу в океане. Водоросли и более крупные зеленые растения образуют в нем только скопления, в целом второстепенные, которые содержат лишь несколько процентов всей зеленой живой массы.

На суше преобладают главным образом зеленые растения. Это они образуют основу жизни, дают господствующую массу.

Мы увидим, что их геохимическая энергия гораздо меньше энергии протистов. Если скорость распространения жизни организмов, не превышающих размерами несколько миллиметров (10^{-1} сантиметров), вообще выражаемых в микронах (10^{-4} сантиметров), достигает тысяч сантиметров в секунду, то она лишь редко достигает нескольких десятков сантиметров у зеленых растений.

Объяснение этому факту можно найти в условиях динамического равновесия земной коры так же как и в условиях проникновения солнечного света в жидкую

и твердую среду земного шара[1].

58. Я вернусь к обсуждению этого различия в другой части этой статьи. Я касаюсь этого теперь лишь вследствие господствующей роли, которую оно играет в аспекте живой природы в этих областях биосферы.

Размножение всех других существ и движения, вызванные их возникновением, имеют всегда место в среде, заполненной потомством зеленых растений. Это именно на поверхности, занятой зеленой растительностью, другие организмы должны «найти себе место под Солнцем».

Микробы и микроскопические существа сосредоточены только в тонком слое — почве, которая покрывает всю поверхность суши почти непрерывно. Почва необходима для жизни наземных растений. Она заполнена жизнью, которая, конечно, составляет самую значительную часть ее массы, редко менее 20-25 %, иногда до 50 % и больше. Почва всегда богата жизнью; она представляет в механизме земной коры поле химических процессов, важность которых еще не получила должной оценки.

С точки зрения, которая нас интересует, почва представляет собой среду, абсолютно отличную от того, что наблюдается на ее поверхности.

Она пронизана организмами, одаренными геохимической энергией, самой большой, которую мы знаем: бактерий, диатомовых, одноклеточных водорослей, инфузорий, грибов и других существ мельчайших размеров. Эти крошечные существа играют в ней преобладающую роль и образуют химическую среду, которая напоминает водную среду или илы океана.

Движение, вызванное рождением существ, которые нас интересуют, совершается без перерыва и достигает своего максимального проявления, так как там преобладают организмы, одаренные максимальной геохимической энергией. Организмы, которые проводят всю свою жизнь в почве и отличаются более медленным размножением, сравнительно редки — по числу индивидов на данную поверхность.

59. Зеленые растения не обладают свободой движения.

Может быть, как раз вследствие этого мы можем лучше проследить у них те движения, которые обусловлены их размножением, чем у других организмов.

Мы даже привыкли его видеть.

Мы знаем, что невозделанная почва, не покрытая зелеными растениями, будет неминуемо заселена ими в небольшой промежуток времени. Обычно для этого достаточно несколько лет.

Это заселение ускоряется благодаря занесению туда семян, например, ветрами или бегающими животными; но не они производят самое заселение: это — движение растений, которые захватывают данную поверхность. Это движение, которое мы можем здесь наблюдать, на деле является проявлением самой геохимической энергии зеленых растений. Сила, которая проявляется таким образом, такова, что в общем каждое растение могло бы при самом тесном расположении покрыть сплошь поверхность земного шара — $5{,}1 \cdot 10^8$ км^2. Оно могло бы это сделать, если

[1] *Вернадский В.И.* Ход жизни в биосфере // Природа. 1925. № 10/12. С. 25-38.

бы это позволила среда, т.е. если бы растение имело в своем распоряжении необходимую почву, если бы оно не должно было бороться против других конкурентов. Нигде, может быть, в живой природе борьба за существование не является столь упорной, столь ожесточенной и столь беспощадной, как среди этих организмов, молчаливых и неподвижных, этих автоматов — основателей наземной живой природы, как это показал с такой глубиной известный русский биолог Г. Морозов, труд которого, к несчастью, остался незаконченным из-за его преждевременной смерти[1]. Эта борьба за существование — неизбежное следствие движения этих существ, вызванного рождением их новых поколений.

Если вследствие сопротивления среды распространение какого-либо растения по всей земной поверхности неосуществимо, сила, которая стремится его произвести и которая присуща растению, существует и действует, несмотря ни на что, она-то и проявляется в борьбе растений за существование.

60. Жизнь и размножение всех других живых существ происходят не на свободной поверхности планеты, но на поверхности, уже занятой зелеными растениями. При их внедрении на эту поверхность их размножение в пространстве, уже занятом жизнью, идет более медленно или более быстро в зависимости от их размеров, которые определяют необходимое для них пространство (§51).

Это размножение всегда определяется сопротивлением зеленых растений.

Зеленые растения занимают поверхность суши так плотно, как только возможно. Это неподвижные вертикально стоящие организмы. Организмы такой формы всегда способны сжаться в гораздо большее число на определенной поверхности. На каждом шагу мы видим выражение подобного движения, вызванного рождением новых существ, которые стараются вытянуться так высоко в атмосферу, как только это для них возможно. Луга, леса или скопления водорослей девственной природы, которые не были затронуты дезорганизующей волей человека, часто представляют нам эту картину.

Животные[2] и грибы в связи с их формой располагаются совершенно по-другому в этих скоплениях зеленых растений, чем сами растения, они стремятся занять наибольшую поверхность, а их форма частично определяет их размножение, позволяет им ускорить его, насколько это возможно соответственно их весу.

Бóльшая часть организмов, которые населяют леса, луга, поля, обладают меньшей силой размножения, чем зеленые растения; только насекомые могут в общем сравняться с ними в этом отношении, но размеры позвоночных животных, взятые по отношению к поверхности, которую эти животные занимают на земле, указывают на движение размножения гораздо более медленное, чем у растений и насекомых. Только движения мелких позвоночных относятся почти к тому же порядку.

61. Если мы исключим микроскопические существа, которые играют лишь второстепенную роль вне почвы, зеленые растения преобладают на земной поверхности,

---

[1] Морозов Георгий Федорович (1867-1920), лесовед, ботаник и географ, создатель современного учения о лесе как биоценозе, основатель русской школы лесоведения. — Ред. издания Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

[2] Исключая человека. Конечно это не случайное явление.

они дают движения, которые не превышают нескольких десятков сантиметров в секунду, обычно меньше. Среди животных насекомые преобладают по их массе, их движение размножения равно обычно нескольким сантиметрам в секунду.

Общая масса больших животных в биосфере меньше массы растений и насекомых. Животное, отличающееся наименьшей известной нам геохимической энергией, — слон. Он распространяется размножением в биосфере со скоростью, которая не превышает долей миллиметра в секунду. То же самое и у человека, вся масса которого на нашей планете — порядка десятков миллионов тонн. Незначительное число в сравнении с массой биосферы!

62. Весь этот бесчисленный мир живых организмов распространяется по Земле без перерыва в течение миллионов лет медленным или быстрым движением сообразно непреложным числовым законам. Эти законы могут и должны быть установлены, ибо только они позволяют нам связать явления, на первый взгляд столь далекие одно от другого, как явления астрономические и биологические.

Связь между ними, как это ни кажется нам удивительным, действительно существует. Она даже фактически всегда очевидна для нас.

Она видна в повседневном мышлении человека, в его заключениях и в его языке каждый день. Она кажется очевидной, но не проникла в научные построения Вселенной.

Она постоянно и на каждом шагу проявляется в значительной роли, которую играет Солнце, и в первую очередь его тепловые и химические излучения в жизни, во влиянии годового и суточного вращения Земли на явления жизни, в значении времен года, в смене дня и ночи.

Сознание этой связи не вошло в наши научные построения Вселенной вследствие разнородности основных понятий, которые лежат в корне наших биологических и астрономических воззрений.

Эта разнородность вытекает не из природы этих явлений, но в первую очередь из того факта, что организмы рассматривали как существа sui generis, без связи с биосферой, с которой они непрерывно связаны, и не учитывали их совокупность — живого вещества — и воздействие этой их совокупности на механизм планеты. Можно придать этому другую форму, и это позволит научно связать обе категории явлений.

Мы изучаем в астрономии движения масс. Аналогичные движения должны быть установлены в биологических явлениях и должны быть связаны с движениями Земли — планетными движениями.

Мы видим эти движения в размножении организмов. Именно они, как мы это видели, составляют основу проявления жизни в биосфере, определяют наиболее важные ее черты. И они находятся в очевидной и тесной числовой зависимости от астрономических явлений — от движений планеты, от энергии светила, к системе которого планета принадлежит. Это именно она, эта энергия, возбуждает движение живого вещества.

63. Эти движения глубоко отличны от движений материальных тел на нашей планете, которые мы постоянно наблюдаем, — движений, которые производят животные, водопады, морские волны, ветры, перемещения всякого рода, совер-

шаемые деятельностью человека. Напротив, существует глубокая аналогия между ними и внутренними молекулярными движениями тел. Эти движения не могут быть непосредственно постигнуты человеческими чувствами; человек может создать себе о них представление только силой длительной абстракции — плодом труда поколений. Существует глубокая аналогия между распространением живого вещества и одним из основных свойств газовых масс, которое является лишь проявлением их молекулярных движений. Эти движения глубоко отличаются от перемещений газовых масс, как ветры или газовые струи, выделения газов из земли. Это давление газовых масс, их распространение, растекание в окружающей среде.

Молекулярные движения являются нам как свойства самих газов, так как мы не можем никакими способами прекратить их, остановить их, как мы можем сделать это с движениями другого рода — ветрами или газовыми струями.

64. Давление газа есть явление статистическое. Оно является выражением движения *совокупности газовых частиц*.

Имеется полная аналогия между этим давлением и движением, вызываемым размножением живых организмов. Это также статистическое явление. *Это — движение совокупности маленьких тел*, которое никогда не может быть остановлено в своем проявлении, как не может быть остановлено движение газовых частиц. Его наличие проявляется давлением, которое существует всегда, даже когда сама газовая масса остается неподвижной.

То же самое мы видим и при размножении. Если мы хотим поставить препятствие его проявлению, мы должны сделать усилие, затратить энергию — все то, что мы делаем, чтобы почувствовать *давление* газовых тел.

Распространение живого вещества размножением логически аналогично давлению газа.

65. Эта аналогия может быть прослежена в ее разнообразных следствиях. Мы имеем полное право это сделать и выразить оба явления законами аналогичной формы, общим языком.

Отдельные организмы соответствуют газовым молекулам. Их индивидуальные или самопроизвольные движения, миграции животных, перенос растений ветрами или морских животных океаническими течениями так же глубоко отличаются от их распространения размножением, как давление[1] газов отличается от индивидуальных движений частиц, проявлением которых оно является.

Основные черты законов должны быть одними и теми же в этих обоих случаях. Столь изящная и точная форма, в которую облеклась на протяжении своего развития кинетическая теория газов, может нам помочь в изучении размножения — почти девственного поля для исследования с этой точки зрения.

В том, что касается специального вопроса, который нас интересует в его связи с земной корой, это изучение не даст нам больших преимуществ. Существует другой способ представить явление — способ *скорости распространения жизни*, независимый от этой аналогии. Я приму его как основу моих исследований.

---

[1] Это описка в рукописи В.И. Вернадского. В данном случае речь идет не о давлении, а о перемещении газов. — Ред. издания Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

Я остановлюсь, однако, на важном следствии, которое можно вывести из аналогии с газом и которое позволит определить с большой точностью максимальные значения движения, вызванного в общем размножением живого вещества.

66. Эта картина беспрерывного давления живого вещества, движения его распространения не носит, конечно, специфического характера, относящегося только к нашей геологической эпохе. Мы констатируем существование жизни *субаэральной* и жизни водной в эпохи наиболее отдаленные, в археозойскую эру (архейские отложения)[1]. Минералогические и геохимические явления, связанные с жизнью, указывают нам, что аспект природы в ее общих крупных чертах не изменился в течение всего времени, которое охватывает мириады веков[2].

Итак, несомненно, что в течение всех этих неисчислимых веков осуществлялось одно и то же движение размножения организмов. Различие между его проявлением в морских бассейнах и на суше должно было быть одинаковым в его главных чертах. Специфическая для каждого живого вида числовая закономерность должна была существовать всегда.

Сами виды не остались неизменными. Живая природа глубоко изменяется в отношении видового состава организмов в течение геологического времени. Это изменение, однако, не могло нарушить основы ее существования — характер ее движения путем размножения.

Это изменение определило числовые отклонения элементов движения — Δ геометрических прогрессий или скорости распространения жизни (§ 90), но характер самого движения остался неизменным.

Числа, которые характеризуют его, Δ и другие (§ 70, 83), могли изменяться только резко, более или менее крупными скачками.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЯ — ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

67. В последующем я буду опираться на эмпирические обобщения, которые можно вывести из вековых наблюдений над этими явлениями (§ 12).

Основное понятие, которое я приму как эмпирическое обобщение, не требующее доказательств, следующее: размножение всякого организованного существа может быть выражено геометрической прогрессией.

68. Эта прогрессия очевидна и может быть установлена непосредственно наблюдением над некоторыми простейшими в случае, когда их размножение производится простым делением каждой клетки. В этом случае каждая клетка (особь) удваивается в продолжение времени, в среднем всегда одинаковом (при определенной температуре). Число организмов, образованных таким образом, в зависи-

---

[1] Субаэральная жизнь проявляется значительно позднее водной. Ее раннему появлению мешало почти полное отсутствие в древнейшей атмосфере Земли кислорода, а следовательно, и озонного слоя, защищающего субаэральное живое вещество от уничтожения жесткими коротковолновыми излучениями Солнца. —Ред. издания Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

[2] См. примеч. на с. 556. — Ред. издания Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

мости от времени дается следующей формулой:

$$N_n = 2n\Delta, \tag{1}$$

В этой формуле: N_n — число особей, образованных этим путем в n дней;

n — число дней с начала процесса;

Δ — число поколений в течение одних суток.

Иногда полезно (§31) выразить *интервал между двумя поколениями*. Этот интервал —τ— находится в отношении с

$$\tau = \frac{1}{\Delta}, \tag{2}$$

τ может быть выражено в минутах.

Можно рассматривать Δ и τ в этом случае с другой точки зрения. Размножение этих простейших состоит всегда в *удвоении* особей. Каждая клетка делится на две, эти две последние также делятся на две (четыре клетки) и т.д. *Размножение* в этом случае идентично удвоению особей. *Следовательно, величина Δ представляет число удвоений в течение одного дня, величина τ — время каждого удвоения*.

Принимают в расчет сутки, равные строго 24 часам (ноль минут и секунд), которые соответствуют 1440 минутам или 86 400 секундам.

69. Такое схематическое изображение естественного процесса, если бы даже оно абсолютно соответствовало по числовым результатам наблюдаемым фактам, глубоко отличалось бы от самого процесса.

Разница состоит в различии обозначений времени в обоих случаях.

Естественный процесс является процессом перемежающимся; он развивается с паузами и приводит к резким изменениям.

Формула соответствует непрерывному процессу, она выражает явление — происхождение особей — как функцию времени; нет необходимости принимать в ней во внимание интервалы τ и можно вычислить Δ для всех долей τ, не заботясь, в какие именно моменты происходит фактически удвоение.

Мы не принимает в формуле какого бы то ни было предела для Δ или для τ (§ 68). Математически они могут соответствовать всем положительным числам.

Но если взять Δ в связи с естественным явлением, вычисление числа особей, образованных в определенное время, совершенно соответствует наблюдаемым фактам.

Это совпадение для нас достаточно. Формула не имеет для нас никакого другого значения.

70. Можно представить эту формулу в другом виде, дающем иногда преимущества:

$$2^{\Delta} - 1 = a \ , \tag{3}$$

где a представляет собой суточное увеличение числа особей по отношению к особям предыдущего дня:

$$2'' - (a+1)'' = N_n, \tag{4}$$

$(a + 1)''$ дает нам число особей.

$$a = 2^{\Delta} - 1 = \frac{N_n - N_{(n^{-1})}}{N_{(n^{-1})}}, \qquad (5)$$

Ясно, что *a* может характеризовать данный организм и так же для него характерно, как Δ.

Выражение явления посредством α гораздо более конкретно, чем при помощи Δ, ибо величина Δ соответствует естественному явлению — явлению *размножения* — только в случае простого клеточного деления. В других случаях они представляют собой дроби, при продолжительности деления, выраженной в *единицах* суток. Величины α всегда соответствуют естественному явлению — явлению суточного прироста числа особей.

Суточное увеличение числа организмов по отношению к их числу в предыдущий день — величина *a* — есть величина постоянная для каждого вида или расы.

71. Эта формула размножения, которая соответствует тому, что мы наблюдаем в действительности для множества видов ресничных, перидиней, диатомовых, жгутиковых, дрожжей и других простейших, для всех бактерий, может быть распространена, по-видимому, на все другие организмы без исключения.

Конечно, ее значение тогда изменится и не будет иметь ничего общего с ходом самого процесса, но оно все же позволит получить путем подсчета то же самое число особей, которое образовано в природе совершенно другим путем.

Как я уже указывал (§ 68), мы не требуем ничего другого от этой формулы, как в случае, когда Δ формулы соответствует числу поколений и удвоений особей в течение суток.

Размножение живых организмов давно представляли таким образом. Уже у предшественников Мальтуса в XVIII в. встречается представление о размножении человека, выраженное периодами удвоения населения. Это есть уже указание величины Δ.

72. Выражение размножения единой формулой не только облегчило бы расчеты, но дало бы возможность численно сравнивать крайне сложные явления природы. Их сводят, таким образом, к единому масштабу.

Чтобы убедиться в возможности применения к этим столь сложным и столь мало анализированным явлениям одной и той же формулы размножения, могущей служить во всех этих случаях, глубоко различных на первый взгляд, у нас есть единственный путь — путь эмпирический.

Его надо применить к наиболее различным и конкретным случаям и отдать себе отчет в результатах. Это метод, которому я следовал, и пришел к убеждению, что применение этой формулы было в действительности возможно в самых разнообразных и очень сложных случаях, быть может — во всех случаях.

Эта формула, конечно, может быть применена ко всем большим отделам живой природы.

Я не могу здесь войти в обсуждение этого предмета и укажу только на гипотезу, которая смогла бы, может быть, объяснить существование единой формулы.

Быть может, эта формула оказалась бы связанной с происхождением самого механизма размножения. Возможно, что в древние эпохи этот механизм был единственным и общим для всех организмов и что он соответствовал делению клетки. Возможно, что все его современные формы, даже наиболее сложные, представляют собой лишь эволюцию этого единственного и первоначального типа.

Но и отрицательное решение этой гипотезы не может ни в чем изменить полученный эмпирический результат, существование единой формулы для размножения вообще, формулы, которая совпадает с формулой удвоения клеток делением.

73. Применяя эту формулу как выражение размножения, мы по необходимости производим некоторые подразумеваемые допущения, которые необходимо отметить; они глубоко изменяют смысл формулы.

В первую очередь Δ никогда не может рассматриваться как величина тождественная числу поколений у многоклеточных.

Δ может представлять собой только число удвоений клетки. Это удвоение обычно происходит не по многу раз в сутки, и ход его независим от этого масштаба. У многоклеточных в течение суток удвоение может быть представлено только дробным числом.

Оно независимо или связано очень сложным образом со сменой поколений у многоклеточных. Осуществление удвоения числа особей у них часто требует продолжительности десятков и сотен суток. Эта продолжительность может быть выражена не минутами, как в случае простейших, но годами.

74. Глубокое различие, которое существует между Δ и числом поколений у многоклеточных, становится очевидным, если рассматривать их значения в живой природе.

Продолжительность времени между поколениями изменяется от 22–24 минут (бактерии) до одной или двух сотен лет (зеленые растения), т.е. от $6 \cdot 10^{-2}$ до $3{,}65\ 10^{4}$, может быть, $7 \cdot 10^{4}$ дней. Δ изменяется между $6{,}5 \cdot 10^{1}$ (бактерии) и $1{,}0\ 10^{-4}$ (слон).

Применяя формулу к различным организмам, мы, несомненно, глубоко изменяем значение Δ[1].

75. Факт, что размножение этих организмов является во многих случаях очень медленным и не соответствует единице времени (сутки), делает это изменение еще большим.

Наблюдают, например, у многочисленных видов размножение, при котором число поколений находится в очевидном соотношении с годами. В наших вычислениях мы рассматриваем год равным 365 дням.

Так, большое число видов птиц, рыб, мелких млекопитающих дает свое потомство или откладывает яйца один раз в год. Надо думать (§ 33), что интервал «в один год» колеблется для всех этих организмов, но близок к 365 дням.

Абсолютное отсутствие наблюдений над точным интервалом, который существует между двумя рождениями — двумя последовательными поколениями,

1 Я вычислил размножение частично по формулам проф. Е. Холодковского, которые я даю в приложении. Пользуюсь случаем выразить ему здесь свою признательность.

обязывает нас всегда рассматривать эти интервалы как равные году в 365 дней и удовлетворяться, таким образом, расчетами по необходимости несколько приближенными.

Поправки, которых требуют эти числа, не будут, по-видимому, очень большими. Они не изменят заметно величину характерных для каждого вида констант α и Δ.

76. Однако формула, которая выражает годичное размножение в суточном масштабе, непременно вызывает осложнения совершенно другого рода, которые необходимо тотчас же отметить.

Ясно, что формула (1)

$$N_n = 2n\Delta,$$

не может иметь реального значения в том случае, когда n равно $m \cdot 365$ дней, где m — целое простое число.

Все наши вычисления a или Δ для промежуточных дней не отражают естественного факта, так как процесс осуществляется только резкими скачками в моменты рождения, которые следуют за интервалами покоя, равными 365 или вообще $m \cdot 365$ дням.

Величина α или Δ, выраженная, как для других организмов по отношению к суткам, соответствовала бы реальному явлению, только если мы их умножим на 365 или на $m \cdot 365$.

Однако сравнение в этом случае таким образом полученных a и Δ с a и Δ организмов, размножение которых измеряется сутками, следовало бы тогда таким же образом соответственно умножить, не дало бы результата. Высший предел размножения неизвестен, и мы не можем пользоваться для всех организмов одной устойчивой и неизменной шкалой времени. Она должна была бы соответствовать шкале с самой долгой продолжительностью между двумя последовательными поколениями.

Было бы проще представить положение вещей, воспользовавшись для этих расчетов самой маленькой единицей времени, которая была бы не случайной, но представляла бы для живого вещества естественную величину.

Естественная единица должна была бы соответствовать наименьшей возможной между двумя последовательными поколениями продолжительности времени — около двадцати минут, не более.

Мы берем единицу, которая не слишком превосходит порядок явления — сутки в 1440 минут.

Можно не принимать в расчет того, что в этом случае α и Δ многочисленных живых видов представляют только части их реальных значений, ибо всегда известен коэффициент, который позволяет получить их с желаемой точностью.

Можно будет всегда, когда это позволит состояние наших знаний, представить действительное значение этих чисел по отношению к точной единице максимальной или минимальной продолжительности времени, которая существует между двумя поколениями во всем живом веществе.

Характер механизма самого размножения, который сильно отличается от деления клетки, представляет трудности другого рода.

Этот механизм является всегда механизмом полового воспроизведения, часто очень сложного в своем проявлении и своей структуре.

Всегда в подобном механизме некоторое число рожденных особей, несомненно, не даст потомства, и в то же время единичная особь также не может его дать. Следовательно, формула

$$2^{n\Delta} = N_n ,$$

взятая даже в форме

$$2^{n\cdot 365\Delta} = N^1_n ,$$

не может дать нам (без поправок) точное число особей.

Чтобы получить поправку, надо знать отношение между самцами (бесплодными) и самками. Эти данные различны соответственно видам и расам, они являются достаточно устойчивым и характерным свойством.

Можно заметить, что эта поправка — функция времени (лет). В проблемах, которые нас интересуют, ею вообще молено пренебречь.

77. Пример объяснит нам, возможно, лучше ход вычислений, чем это сделает длительное рассуждение.

Возьмем простой, но очень обыкновенный случай, который наблюдается у мелких птиц, у мелких млекопитающих и некоторых рыб. Отношение между числом самцов и самок равно единице, т.е. половина потомства не дает последующих поколений, или, иначе сказать, не меняет формул — потомство образовано вследствие соединения мужского элемента с элементом женским. Потомство образуется один раз в год, и новые существа начинают воспроизводиться в следующем году.

Если не учитывать смерть[1], число особей, которое может родиться в этих условиях, будет соответствовать формуле:

$$N_m = 2(1+q)^n , \tag{6}$$

где $m = \text{n}\cdot 365$; $q = \dfrac{a}{2}$, a — число детенышей, яиц и т.д. в течение года.

Принимая $N_m = 2^{n365\Delta}$ имеем: $2^{n365\Delta} = 2(1+q)^n$, откуда

$$\Delta = \frac{1}{365n} + \frac{\lg(1+q)}{365\lg 2} = \frac{0,00274}{n} = \frac{\lg(1+q)}{365\lg 2} \tag{7}$$

0,00274/n является поправкой, которая одинакова для всех организмов, наделенных одинаковым механизмом воспроизведения.

Эта поправка обратно пропорциональна числу лет и может стать как угодно малой, если число лет достаточно велико. В то же время второй член lg (1 + q) / 365 lg2 будет иметь определенный предел.

---

[1] Это можно сделать, ибо влияние смерти становится нечувствительным в течении малого числа лет, если учесть точность наших вычислений. Разность между числами особей, которые дают потомство, и теми, которые должны быть исключены вследствии их смерти, становится вскоре огромной, может быть выражена 10^n, где n возрастает как функция лет с большой скоростью. Конечно, для очень точных вычислений, в особенности для крупных организмов, одаренных медленным размножением, необходимо вводить поправки на смерть или старческое бесплодие.

78. Эти члены выражения Δ изменяются в зависимости от условий размножения. Они иные в случаях, когда отношение между числом самцов и самок не равно единице или когда потомство начинает давать новые поколения не в следующем году, но через несколько лет после своего рождения. Я не буду останавливаться на обсуждении этих многообразных случаев, ибо все они имеют одни и те же общие черты.

Δ всегда может быть представлена двумя членами формулы, из которых один, как функция лет, стремится к нулю, другой приближается к определенному количеству, к определенному пределу.

Для проблем, которые нас интересуют, достаточно принять во внимание только тот член для Δ, который стремится к пределу.

Δ_{lim} (соответственно α_{lim}) будет обозначать такое предельное значение Δ.

Мы вправе в явлениях биосферы брать Δ_{lim} вместо Δ реальных, ибо в живой природе, явления которой они отражают, размножение идет в течение бесчисленных веков; член выражения, относящийся к размножению за год, исчезает в этом масштабе явлений.

79. Величины α и Δ недостаточны для количественного изучения распространения живого вещества в биосфере.

Они не только не находятся в каком-нибудь отношении с биосферой, но они не позволяют получить количественно устойчивые отношения между конкретными элементами размножения различных живых видов.

Ясно, что невозможно сравнивать между собой различные α, ибо отношение между ними изменяется как функция времени и соответствует в каждый момент различным числам.

Мы можем сравнить только числа организмов, образованных в одной и той же продолжительности времени, т.е. (§ 70)

$$\frac{(a+1)^n}{(a_1+1)^n} = r, \tag{8}$$

a и a_1 характеризуют два различных вида, n — число дней.

Ясно, что r меняется как функция n, оно не является константой.

Конечно, принимая во внимание особые свойства времени в биологических явлениях, можно прийти к получению количественных соотношений, но они или слишком сложны, или недостаточно точны.

80. Конечно, можно всегда количественно сравнивать различные Δ различных видов. Отношение

$$\frac{\Delta}{\Delta_1} = r_1, \tag{9}$$

всегда постоянно (Δ и Δ_1 характеризуют различные виды или один и тот же вид, подвергнутый различным условиям размножения).

Как мы видели (§ 73), Δ не может быть сведена к конкретным явлениям размножения.

Надо стараться выразить отношение r_1 иначе, придать ему понятную форму.

81. Два уже старых эмпирических обобщения, о которых я говорил (§ 12), могут нам помочь это сделать.

Одно из них (§ 12) указывает на существование определенного отношения между *размерами* организованных существ и их размножением. Размножение обратно пропорционально размерам: по мере того как существа становятся меньше, они размножаются все более и более быстро, и обратно. Вследствие такого размножения силы окружающей среды это им позволили (§ 14). Это заселение осуществилось бы тем более быстро, чем размеры организмов были бы меньше.

Эти два обобщения вносят новое понимание в наше рассуждение.

Они выражают размножение не только по отношению к механизму воспроизведения, по отношению к организму, но они определяют его по отношению к поверхности земного шара — к биосфере.

82. Основываясь на этих обобщениях и пользуясь α и Δ, мы приходим к новому пониманию размножения в связи с биосферой.

Отношение между различными Δ — отношение r_1 (§ 79), которое является постоянным и независимым от времени, сохраняет всю свою важность. Но оно выражает тогда отношение не между Δ, которое мы не можем себе представить, но между конкретными явлениями, имеющими место в природе, о которых мы можем создать себе ясное представление.

Я остановлюсь здесь на двух константах, которые я назову ε и ν и из которых одна мне кажется очень важной и очень удобной для научного исследования этого большого явления природы.

83. Я назову ε время (выраженное в сутках в 24 часа), необходимое для того, чтобы один организм полностью заселил земную поверхность.

Представим себе явление следующим образом: каждое новое существо занимает одну и ту же поверхность, *наименьшую возможную по отношению к его размерам*. Время, необходимое для того, чтобы вся земная поверхность была таким образом занята, является, очевидно, функцией размножения, ибо оно тем меньше, чем число образованных организмов больше.

Итак, мы имеем:

$$\varepsilon = \frac{S}{k(a+1)^n}, \tag{10}$$

где S — поверхность Земли, равная $5{,}10065 \cdot 10^{18}$ см; k — особый коэффициент для каждого вида в определенном отношении с его максимальными размерами.

Вычисления, которые могут быть таким образом произведены, показывают, что колебания для ε могут быть огромны. Минимальные ε, указывая на наиболее быстрое размножение, соответствуют бактериям, они не достигают двух дней. Максимальные ε свойственны крупным млекопитающим — для слона (индийского) ε равно почти двум годам[1].

[1] По современным данным, от 607 до 641 дня. — Ред. издания Живое вещество и биосфера / В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

84. Чтобы иметь ясное представление о силах размножения двух живых видов, достаточно сравнить количественно их соответствующие величины ε.

Можно сказать, что, например, размножение слона в 271 923 раза менее быстро, чем размножение Bacterium typhi. Если для Clupea harengus ε = 4435,5 и для Clupea spratus ε = 3595,0, можно быть уверенным, что их распространение размножением в биосфере выражается отношением ε/ε = 4435,5/3595,0 = 1,2336/

В случаях, когда k одно и то же, всегда существует следующее отношение:

$$\frac{\Delta}{\Delta_1} = \frac{E_1}{E} = r_1 . \qquad (11)$$

Мы имеем здесь выражение r_1 в форме, которую мы можем себе конкретно представить.

85. Этот результат является следствием общего природного явления, которое требует существования определенного одинакового предела для размножения всех организмов без исключения.

Механизм их размножения математически не имеет предела.

$2^{n\Delta} = N_n$ остается одной и том же для всех величин Δ и n, которые мы можем себе представить. Но фактически это размножение имеет место в пределах нашей планеты и никогда не может их превзойти.

Если по какой-нибудь случайности организм достиг числа индивидуумов N_n, равного $(a+1)^n$ в формуле (10), его механизм неизбежно перестал бы проявлять себя в окружающей среде.

Число N_n оставалось бы *неизменным*, если бы вновь образованные организмы не нашли себе свободного места, где они могли бы жить.

Мы видим в маленьком масштабе на каждом шагу выражение этого состояния постоянного размножения живых существ: поверхность пруда, покрытого Lemna, или ствол платана, окрашенный в зеленое слоем Protococcus, — примеры всем наглядные. Числа особей Lemna или Protococcus постоянны, ибо поверхность их обитания строго ограничена.

86. Постоянное число особей на земной поверхности, которое теоретически может быть достигнуто каждым организмом, дает нам возможность сравнить их размножение одинаковым образом, как мы это делаем при помощи ε.

Два живых вида дают всегда — в условиях оптимального размножения — числа организмов все большие и большие, и расхождение между этими числами увеличивается как функция времени.

Можно представить это расхождение следующей формулой — видоизменением формулы (8):

$$\frac{(a+1)^n}{(a_1+1)^n} = \delta^n \text{ èëè } \delta = \frac{(a+1)}{(a_1+1)} . \qquad (12)$$

Когда организм, обладая более быстрым размножением, достигает своего постоянного стационарного состояния, его механизм перестает проявлять себя. Второй организм сможет еще размножаться до тех пор, пока он достигает также своего стационарного состояния. Формула (12) будет тогда иметь вид

$$\frac{(a+1)^n}{(a_1+1)^{n+p}} = \frac{N_n}{N_{n+p}} = r_1 = \frac{E_1}{E}, \qquad (13)$$

где $N_n = (a+1)^n$ — стационарное число одного из организмов;

$N_{n+p} = (a+1)^{n+p}$ — стационарное число другого организма.

87. Существует некоторая неточность в понятиях E стационарного числа вследствие несколько произвольного определения k. Мы не можем при современном состоянии наших знаний дать ему более точное определение. Коэффициент k находится в зависимости от размеров организма — он выражает минимальную поверхность, на которой организм может поместиться. Но такое определение недостаточно точно, чтобы безошибочно определять этот коэффициент.

Мы можем в настоящее время действовать лишь ощупью и можем составить только приблизительные определения. Надо найти для будущего более общее решение, которое, конечно, существует.

Этот недостаток в состоянии наших знании отражается на всех наших числовых данных. Правда, легко убедиться, что изменения величины k проявляются гораздо меньшими изменениями ε и постоянных чисел стационарного размножения. Порядок этих величин можно считать известным.

88. Можно выразить k (§ 83) различными способами. Я основывал свои вычисления на двух представлениях, но можно для них брать и другие. Прежде всего можно представить себе его как квадрат, соответствующий наибольшему измерению организма в его проекции на поверхность Земли. Для организма с длиной a и шириной b получают таким образом:

$$k_1 = a^2 \qquad (14).$$

Можно себе представить организмы в более сжатом виде и допустить, что k должно соответствовать максимальной плотности их распространения на поверхности. Его величина будет тогда равна:

$$k_2 = a \cdot b \qquad (15).$$

Я не хочу углубляться в детали определения k, которые возбуждают, однако, интересные проблемы. Я вернусь к этому предмету во второй части моей статьи. Но ясно, что эти проблемы могут быть решены только постепенно, когда определения этого рода войдут в практику.

Не следует, однако, забывать, что величины E, а в особенности N и S так велики, что небольшие изменения k_1 и k_2 в общем не представляют важности.

89. Анализ понятия k приводит нас к новому пониманию этого коэффициента, который, конечно, будет иметь значение в дальнейшем изучении проблемы.

Я должен, однако, упомянуть его здесь, ибо это новое понимание k позволяет нам уже с настоящего момента уточнить величину изменений ε и V.

Можно представить k без учета размеров организма, допустить, что его зависимость от размеров очень сложна и что k_3 *представляет минимальное пространства, необходимое для существования организма*.

Несомненно, что каждый организм требует для своей жизни определенное пространство — ареал обитания. Указывают, например, для слона это пространство равным 30 квадратным километрам[1]. В зоотехнике полагают, что жизнь коровы или быка требует гектара лугов, в лучшем случае 44, даже 35 аров. Плотность планктона или пространство существования пчел регулируется числами также точными и определенными.

Это пространство — ареал обитания — определяется энергией питания и дыхания и, следовательно, не может быть случайным и свободно изменяемым. Оно должно быть, конечно, в определенной зависимости от размножения, которое является одним из наиболее основных свойств жизни.

Для большинства организмов этот ареал обитания известен только очень приблизительно. Для зеленых растений, в особенности для травянистых, k_3, по-видимому, очень близко, если не равно k. Можно его вывести из данных о количестве семян, высеваемых на гектар (наиболее выгодном для урожая).

Следует отметить, что изменения величин ε и N_1, произведенные введением в вычисления k_3, заменяющего k_1, как бы велики они ни были дают нам в основных чертах числа того же порядка.

Так, например, для слона

k_1	$(=4{,}9\cdot10^3$см$)$	k_3	$(=3{,}0\cdot10^6$см$)$
	478584,8 дней		376121,4 дней
N	$=1{,}04\cdot10^{13}$		$1{,}7\cdot10^7$

90. Основываясь на ε, можно выразить силу размножения еще другим образом, который мне кажется очень удобным для расчетов и который позволяет прийти к представлениям о движении гораздо более конкретным, чем те, что нам дают сравнения и анализы.

Ясно, что ε — число дней, необходимых для заселения поверхности Земли организмом, который размножается, определяет движение.

Это движение является движением распространения живого вещества, подобно движению газовой массы (§ 63). Следовательно, ему можно дать выражение соответственно другим движениям, определить *его скорость*.

Я называю эту скорость растекания живого вещества по поверхности биосферы *скоростью передачи жизни*; это — постоянная — константа V.

91. Скорость передачи жизни размножением — V — выражается в сантиметрах, которые живое вещество проходит в секунду в любом направлении по прямой линии.

Когда организм заселяет всю земную поверхность, он делает это в течение времени ε, совершая «кругосветное путешествие».

Какой бы то ни был организм, который был один на экваторе, на этой наибольшей окружности нашего земного шара, при начале своего размножения, в

[1] По современным данным, для пропитания одного слона в течение года нужна растительность с площади около 5 км^2. — Ред. издания Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

конце своего движения через ε дней будет частью непрерывной цепи организмов, цели, которая займет весь экватор.

Движение распространилось, таким образом, в направлении экватора со скоростью, которая отвечает длине экватора (в сантиметрах), разделенной на число секунд, отвечающее времени ε.

Таким образом,

$$V = \frac{E}{\varepsilon}, \tag{16}$$

где E — земное екватор, равный 40075,721 км, т.е. $4{,}0075721 \cdot 10^9$см.

Можно дать формуле (16) более конкретное выражение, подставив для E и S их соответственные числовые значения и выразив E как функцию Δ и a.

Тогда ми имеем $$V = \frac{46383{,}93 \cdot \lg(a+1)}{1870762 - \lg k}, \tag{17}$$

$$V = \frac{46383{,}93 \cdot \Delta \cdot \lg^2}{1870762 - \lg k} \tag{18}.$$

92. Константа V выражает конкретное явление, определяет большое, непрерывающееся движение, которое имеет место в биосфере.

Она отвечает реальной скорости распространения жизни путем размножения, так как $4{,}0075721 \cdot 10^9$ см — *наибольшая длина, которая может быть достигнута каким бы то ни было организмом при размножении*.

Ни один организм не может превзойти эту длину, так как механизм размножения перестанет действовать, когда организм заселит всю земную поверхность. Окружность экватора является на этой поверхности наибольшей длиной.

Ни один организм никогда не может заселить всю планету и, таким образом, пройти все число километров, отвечающих экватору.

Но, размножаясь, он распространяется по всем направлениям с одинаковой скоростью так как его движение подчиняется закону инерции; оно останавливается в своем ходе только внешними силами, условиями среды, а не свойствами механизма размножения организма.

Следовательно, скорость передачи жизни определяет характер всех этих движений так же полно, как это делает другая скорость для какого-либо другого движения.

Эта скорость столь же определенна и постоянна для каждого организма, даже для самого редкого и для самого мелкого, как определенна и постоянна скорость движения каждого небесного тела, большого и маленького.

Она различна и характерна для всякого однородного живого вещества, она является его важной и характерной константой.

5. СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ЖИЗНИ В БИОСФЕРЕ И ЕЕ ВЫСШИЙ ПРЕДЕЛ

93. Изучение скорости передачи жизни позволяет нам вывести многочисленные и важные заключения с точки зрения биологической и геохимической.

Я не могу входить здесь в сколько-нибудь подробное обсуждение этого вопроса, но большая важность этого понятия для той проблемы, которой я занимаюсь, заставляет меня остановиться на нем, поскольку это необходимо для основной проблемы. Я ограничусь тем, что скажу о заключениях и обобщениях, которые могут быть уже сейчас выведены из понятия скорости передачи жизни. Во второй части статьи я войду в большие подробности, я дам дополнительные соображения и войду в обсуждение практических предложений, которые могут быть выведены из этого нового понятия. Я тогда дам также результаты подсчетов, которые относятся к разным классам и видам организмов.

Надо всегда иметь в виду, что понятие скорости — это новое понятие, изучение которого только намечено в общих чертах и следствия из которого по большей части еще не выведены.

94. Можно сравнивать количественно между собой скорости передачи жизни у различных видов, так же как величины Δ, ε или N_1.

Отношение $V/V_1 = r''$ показывает, что скорость V одного организма в r'' раза больше V_1, скорости переачи жизни другого организма.

При условии одинаковых коэффициентов r существует отношение:

$$\frac{\Delta}{\Delta_1} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} = \frac{N}{N_1} = \frac{V}{V_1} = r_1 \qquad (17).^{1}$$

95. В общем колебания величины этой скорости для различных видов живого вещества должны быть того же порядка, как колебания величин Δ, ε, N_1, хотя эти понятия и величины при первом взгляде очень от нее отличны.

Наибольшая наблюдавшаяся скорость — это скорость бактерий, самых маленьких известных нам существ, размеры которых 10^{-4}–10^{-5}.

Наименьшая скорость должна отвечать организму с наименьшей Δ. Скорость V слона должна дать представление об этой величине.

Мы не могли бы вывести никаких заключений из колебаний величин N_1, a, ε, Δ, так как они соответствуют понятиям, которые мы не можем сравнить ни с чем, нам известным.

Но колебания величины, даже в узких пределах, имеют большое значение, когда они касаются *скорости движения*. Такие скорости нам известны для бесконечного количества объектов — тел и явлений.

Понятие скорости движения — это одно из основных научных понятий. Порядок скорости дает нам всегда сам по себе представление о важности явления, о его положении в совокупности природы.

---

[1] Повтор нумерации формул. Так у автора. — Ред. издания Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

Одно сравнение этих новых скоростей с совокупностью других известных должно нам позволить установить новую твердую базу исследований, должно нам открыть новые возможности в изучаемой проблеме.

Так это и было на самом деле.

96. Первый удивительный факт, который мы устанавливаем, определяя *максимальную скорость V*, это то, что эта скорость *очень близка к скорости звука в воздухе*, вероятно,совпадает с ней.

Для вибриона холеры, например, *V* равна 33 100 см в секунду.

Это совпадение не может быть случайным, оно требует объяснения и толкает на несколько более углубленное обсуждение положения тех существ, которые наделены такой скоростью в монолите жизни.

Скорость звуковых волн в газовой среде зависит от самых основных свойств газов, от их плотности и от их упругости.

Мы уже указывали раньше, что существует аналогия, реальное сходство между движением живого вещества, вызванным размножением, с одной стороны, и давлением газа, следствием которого является скорость звуковых волн, — с другой (§ 63).

Существует также естественная глубокая связь между размножением организма и их *газовым обменом*.

Размножение есть функция жизни, но оно имеет место только в случае, когда существует газовый обмен. Латентная жизнь, когда этот обмен или минимальный, или вовсе не существует, не дает явления размножения.

Все это приводит к мысли, что совпадение скоростей этих двух явлений не случайно.

97. Прежде чем обсуждать этот вопрос, попытаемся определить место, которое занимают организмы, наделенные такой скоростью передачи жизни, — бактерии в системе живых существ.

Мы уже видели, что бактерии представляют наибольшую величину Δ, которая для них совпадает с числом поколений в сутки. Промежуток, существующий у них между двумя поколениями, самый короткий, который мы знаем. В то же время это организмы, которые имеют наименьшие размеры.

Их положение является, таким образом, исключительным в системе живой природы.

Размышляя на эту тему, мы приходим к мысли, что эти мельчайшие существа определяют границу монолита жизни, образуя, быть может, основу жизненных проявлений.

98. Большая скорость передачи жизни у них позволяет нам углубить этот вопрос.

Наименьшие размеры бактерий отвечают нескольким стомиллионным сантиметра (до $5 \cdot 10^{-5}$ для диаметра только некоторых бактерий, конечно). Мы знаем, что размеры порядка 10^{-8} см отвечают уже расстояниям между атомами у кристаллов. Размеры порядка 10^{-7} см отвечают наименьшим расстояниям между молекулами газа, так как для газов существует следующее уравнение: $N = 2{,}7 \cdot 10^{19}$.

Это означает, что 1 см^3 газа при давлении 760 мм и 0^o содержит число молекул, равное *N*. Расстояния между молекулами неизбежно будут порядка 10^{-7} см.

99. Эти пределы не могут быть достигнуты ни одним организмом. Следовательно, самые маленькие существа не могут иметь размеры меньше 10^{-6} см. Размеры бактерий уже очень близки, они порядка 10^{-5} см для самых маленьких.

Изучение размножения бактерий и величины того движения, которое есть его проявление, позволяет определить этот предел жизни с известной точностью.

С этой большой скоростью, которая характеризует бактерии, они могут заполнить пространство в 1 см^3 в несколько часов. Но несомненно, пространство в 1 см^3 никогда не может содержать количество существ, которое было бы близко к $2{,}7 \cdot 10^{19}$, — иначе *их совокупность представлена была бы частичками газов, а не микроскопическими существами*.

Если бы скорость размножения превосходила 33 100 см/сек, размеры организмов должны были бы быть гораздо меньше, чем размеры бактерий, и объем в 1 см^3 был бы, несомненно, заполнен числом живых точек несравненно более сложных, чем молекулы газа, и число их сильно превысило бы возможный для газа предел.

Один кубический сантиметр мог бы содержать 10^{18} крошечных шаровых организмов, диаметр которых был бы $1{,}2407 \cdot 10^{-6}$ см. Принимая наибольшую скорость *V* равной 33 100 см/сек, 1 см^3 был бы заселен этим предельным числом крошечных шариков в несколько часов.

Если бы для величины V не было предела, она должна была бы достигнуть для всех организмов размеров в 10^{-6} см невероятных чисел и заселение 1 см^3 живым веществом, т.е. телом, существование которого связано газовым обменом с окружающей средой, совершилось бы *почти мгновенно*.

Это в высшей степени мало вероятно, ибо во время размножения живые существа *дышат*. *Это дыхание — газовый обмен со средой — идет тем более интенсивно, чем быстрее идет размножение организмов*. Предполагаемые существа, о которых мы говорим, должны были бы иметь газовый обмен такой интенсивности, которая превосходит всякую известную меру.

Газовый обмен — дыхание — регулируется не только свойствами живых существ, но в не меньшей степени основными свойствами газообразного состояния материи.

Из этого следует, что необходимо искать в этом состоянии материи предел максимальной величины размножения, т.е. максимального числа для скорости V.

Величина V должна, таким образом, несомненно, иметь высший предел, и этот предел должен находиться в тесной связи со свойствами газов.

Надо принять, что предельная величина *V* не может превысить скорость звуковых волн в газовой среде дыхания. Иначе мы придем к абсурдным выводам. Так, нужно было бы в таком случае допустить почти мгновенное заселение 1 см^3 множеством в 10^{18} крошечных существ, которые жили бы все это время в интенсивном газовом обмене с молекулами газа в том же сосуде (дышали бы).

100. Бактерии размножаются в жидкой среде. Число молекул газа, которые могут в ней существовать, в 1 см^3 несомненно меньше, чем $2{,}7 \cdot 10^{19}$.

В обмене, который совершается в этом объеме между молекулами и живыми существами, несомненно, должно *существовать устойчивое отношение между числом молекул газа и постоянным числом живых существ*.

Это второе число не может быть больше первого. Следовательно, нельзя признать вероятным, чтобы число порядка 10^{18} могло бы быть постоянным числом для какого бы то ни было организма.

101. Бактерии имеют размеры порядка 10^{-4}—10^{-5} см[1]. Для кокков объемом в 10^{-12} см^3 (диаметром 1,2407-10-4 см) 1 см^3 должен содержать 1012 этих крошечных существ, которые его наполнят; они достигнут стационарного состояния за много часов.

Это количество, которое, несомненно, существует, является вполне реальным и может служить основой наших суждений. Оно показывает, что 10^{12} организмов, которые дышат с большой интенсивностью и скорость V которых близка к скорости звуковых волн, могут существовать в объеме в 1 см^3. Газовый обмен может реально иметь место в этих условиях. Но до каких пределов может увеличиваться это число?

Мало вероятно, чтобы оно много превосходило 10^{13} — порядок стационарных чисел для цилиндрических форм — бацилл, имеющих наименьшие размеры.

Наибольшая величина скорости V в применении к микробам должна в конечном счете регулироваться *диффузией газов в жидкостях*, так как это всегда такие существа, которые живут в водных растворах или в органических дидкостях. Диффузия газов в жидкостях, так же как и скорость звуковых волн в газовой среде, является функцией упругости газа.

Можно заключить из этих соображений, что существование предела для величины V и ее наивысшее значение представляют проявление *дыхания* живого вещества — большого явления жизни в биосфере. Общие свойства газообразного состояния материи определяют его.

Эти свойства регулируют в конечном итоге *размножение* организмов и *движение их растекания*.

102. Существование определенного предела величины константы V позволяет углубить представление *о геохимической энергии живого вещества*.

Эта энергия проявляется в действии размножения лсивого вещества в биосфере и может быть измерена интенсивностью размножения по отношению к биосфере.

Скорость передачи жизни в биосфере V уже дает представление об этой энергии для различных живых видов. Но ее одной недостаточно для определения этой энергии. Нужно знать массы, скорость движения которых она показывает.

Кинетическая энергия движения $mV^2/2$ превратится в этом случае $pV^2/2 = l$, где p — средний вес организма, l — кинетическая энергия.

Ясно, что кинетическая энергия различных видов живого вещества колеблется меньше, чем сама скорость V так как эта скорость уменьшается с увеличением размера, а следовательно, и веса.

---

[1] Наши подсчеты, сделанные для шаровых и цилиндрических организмов, принимая для них максимальную скорость передачи жизни, равную 33 100 см/сек, дают наименьшие размеры бактерий, порядка 10^{-5}.

Наши познания о среднем весе организмов очень недостаточны. Мы вынуждены поэтому давать кинетическую энергию не по отношению к весу, а по отношению к объему и плотности:

$$l = ap_1V^2/2, \tag{17}$$

где a — средняя плотность организма, p_1 — его средний объем.

Удобно пользоваться выражением, где a равно единице, так как плотность организмов, всегда богатых водой (60–99,8 %), близка к плотности водных растворов.

В этом случае $$l = p_1V^2/2. \tag{18}$$

103. Кинетическая энергия этого движения имеет большое значение в выражении заселения поверхности нашей планеты.

Можно брать эту кинетическую энергию по отношению к одному гектару. Выраженная таким способом, она может быть рассматриваема как выражение геохимической энергии однородного живого вещества. Ибо она дает нам энергетическое представление о его размножении по отношению к единице поверхности биосферы.

Перенося явление на гектар, мы идем обычным путем изучения плодородия.

При таком представлении мы принимаем во внимание для водных организмов только их тонкую поверхностную пленку. Такое же представление должно быть сделано и в отношении паразитов.

Для растений и для наземных животных оно в значительной мере отвечает реальным фактам.

Возможно, что это всегда имеет место, когда так представляют энергетические явления.

Таким образом, паразиты ни в коей мере не изменяют энергию живой массы, которая населяет гектар.

Определения плодородия моря дают для толщи воды на участке в один гектар тот же вес органического вещества, как это дает гектар суши.

104. Формула $$l = p_1V^2/2 \cdot 10^8/k = A_1 \tag{19}$$
дает выражение кинетической энергии живого вещества на гектар.

В этой формуле $10^8/k$ выражает число организмов, которые заселяют гектар k с наибольшей густотой. Можно вместо k_1 дать k_2 или k_3.

Во многих случаях является более выгодным, при состоянии наших знаний в данный момент о среднем весе, дать это же выражение в объеме (считая плотность = 1).

$$p_1V^2/2 \cdot 10^8/k = A \tag{20}.$$

Ясно, что $A_1 = aA$, где a — плотность организма объема p_1 и веса ap.

105. Вычисляя величины A и A_1, нужно, как это вытекает из конкретных фактов, *делать различие между одноклеточными (протистами) и многоклеточными*.

Для протистов значения величины A_1 очень близки, и если изучают оптимальное размножение, то получают одинаковое значение для A, так как у про-

тистов вес их определяется обычно только косвенным образом, удобнее употреблять выражение A, чем A_1.

Величина A какого-либо организма может быть взята за единицу сравнения. Я выбрал для моих подсчетов одну из самых маленьких бактерий шаровой формы — один кокк объемом в 1 μ^3 (10^{-12} $см^3$), который, по Фишеру, живет в океане и является самым маленьким по объему организмом в этой среде.

Вес его можно считать примерно равным 10^{-12} г.

Можно принять для этого организма скорость передачи жизни, равную скорости звуковых волн ($V = 33\ 100$ см/сек).

Я предпочел взять за единицу организм, минимальный размер которого не возбуждает сомнений, так как указания τ для vibrio cholerae, который обладает также скоростями, близкими к 33 100 см/сек, недостаточно четки и не позволяют точно определить Δ.

Возможно, что все бактерии в условиях оптимального размножения могут иметь скорости передачи жизни, равные 333 100 см/сек или близкие им.

106. В таком случае общая формула $A = p_1 V^2/2 \cdot 10^8/k$ (20)
должна принять следующий вид:

$$10^{-12} \cdot 1{,}09569 \cdot 10^8 / 2 \cdot 1{,}5394 \cdot 10^{-8} \qquad (21).$$

Число $3{,}53425 \cdot 10^{12}$, по-видимому, соответствует наибольшей величине (на гектар) кинетической энергии всех протистов.

В существующих данных часто находят числа, которые подходят близко к этому количеству, особенно для оптимального размножения.

Вот два подсчета для бактерий, размножение которых при высокой температуре было изучено:

Bacillus ramosus 30 °C, $A = (3{,}28–4{,}65) \cdot 10^{12}$
Bacterium coli 37 °C, $A = 2{,}86 \cdot 10^{12}$

107. Принимая, что в формуле (21) V^2 не может никогда превысить величину $1{,}0956 \cdot 10^9$, т.е. что V имеет определенный высший предел (33 100 см/сек) для всех организмов, можно для некоторых случаев вычислить V, Δ и a.

Уравнение для A принимает тогда такую форму:

$$A = p_1 V^2 \cdot 10^8 / 2k = 3{,}53425 \cdot 10^{12} \qquad (22).$$

Видно, что, если будут известны k (размеры организма) и p_1 (объем организма), можно будет вычислить Δ, a и V, даже ничего не зная о конкретном механизме размножения этих организмов.

Можно сделать эти подсчеты только в том случае, если принять, что A остается всегда одной и той же для всех протистов, что она равна $3{,}53425 \cdot 10^{12}$.

Бросается в глаза связь между этой гипотезой и вычислениями массы органического вещества, производимого одним гектаром.

Все-таки в случае с протестами речь идет только о тонком слое, и их масса не может, конечно, быть того же веса, как массы урожая наших земель и гектара поверхности моря.

Связь эта более сложная. Я вернусь еще к этой проблеме в другом месте.

Ясно, что величины Δ, *a* и *V*, полученные этим путем, относятся к оптимальному размножению.

108. Такие подсчеты Δ, a и V, не только подтверждают гипотезу о постоянстве кинетической энергии протистов на гектар, они позволяют рассматривать ее как эмпирическое обобщение.

Во-первых, значение *A*, равное $3{,}53425 \cdot 10^{12}$, не было превзойдено ни в одном случае.

Во-вторых, величины Δ, *a* и *V*, вычисленные на основании этой формулы, того же порядка, как полученные прямыми наблюдениями.

В-третьих, во всех случаях оптимального размножения обе величины очень близки, если не совпадают.

109. Один коэффициент входит всегда в определение *A* как гипотетический — это объем, равный p_1.

Этот объем не всегда известен и должен быть вычислен, исходя из размеров организма.

Я делал подсчеты для двух случаев, один — для организма шаровой формы, другой — цилиндрической. В этих именно случаях имеются указанные *совпадения*. Форма протистов в некоторых случаях очень близка к этим геометрическим фигурам: для бактерий она даже представляет типичные их формы — кокки и бациллы.

110. Основываясь на вышеприведенной формуле (20), можно получить для мелких организмов размеров протистов (10^{-1}–10^{-5} см) простые соотношения между *V*, Δ и размерами организмов.

Я вернусь к этим формулам во второй статье, где я их использую. Здесь я даю только общее понятие.

Так, для скорости V отношения следующие:

Для шаровых организмов (плотность = 1)

$$V^2 = \frac{1{,}35 \cdot 10^5}{Д}.$$

где *Д* — диаметр сферы.

Минимальный диаметр в случае *V* =33 100 см/сек.

Д = $1{,}24075 \cdot 10^{-4}$см.

Для организмов цилиндрических

$$V^2 = \frac{4{,}5 \cdot 10^4}{Д_1}.$$

где $Д_1$ — радиус основания цилиндра.

Важно отметить, что в этом случае *высота цилиндра не влияет на скорость передачи жизни*. Бациллы длиной 10^{-4} или 10^{-3} см обладают одной и той же скоростью передачи жизни, если их ширина остается той же. Чтобы вычислить значе-

ние V, нет необходимости знать длину спириллы[1], достаточно знать ее толщину.

Наименьшая величина для $Д_1$ (при F =33 100 см/сек) $Д_1 = 4{,}107 \cdot 10^{-5}$.

Может быть, эта длина не отличается значительно от размеров самых маленьких бактерий вообще.

111. Формулы, которые получаются для Δ, также очень просты.

Для шаровых организмов:

$$\Delta^2 = \frac{\varepsilon\,(cД - \lg 21)^2}{Д \cdot B_1^{\,2}},$$

где $\varepsilon = 1{,}35931 \cdot 10^5$, $\lg\varepsilon = 5{,}13329$, $c = 18{,}70762$,

$$\frac{\lg\Delta = \lg\varepsilon + 2\lg(c - 2\lg Д) - 2\lg B_1 - \lg Д}{2}$$

где $B_1 = B\lg 2$, $\lg B_1 = 4{,}14598$, $\lg B = 4{,}66637$, $Д$ — диаметр шара.

Для цилиндрических организмов:

$$\Delta^2 = \frac{\varepsilon^2\,(c - 2\lg Д_1 H)^2}{B_1^{\,2} Д_1},$$

где $\varepsilon_2 = 4{,}5 \cdot 10^4$, $\lg\varepsilon_2 = 4{,}60746$, $\lg B = 4{,}66637$,

$$\frac{\lg\Delta = \lg\varepsilon_2 + 2\lg(c - \lg 2\, Д_1 H) - 2\lg B_1 - \lg Д_1}{2}$$

где H — длина цилиндра, $Д_1$ — радиус его основания.

Ясно, что можно вычислить аналогичные формулы для других организмов геометрической формы.

112. Я вернусь к более подробному разбору всех этих проблем во второй части моей статьи.

Там я займусь изучением явлений, которые связаны с размножением многоклеточных организмов более крупных, чем протисты.

Это последнее поле исследования требует не только более подробного обсуждения; оно позволяет затронуть новые явления, которые не проявлялись в живом веществе протистов.

Появление многоклеточных на земной поверхности произвело глубокое изменение в механизме земной коры, в воздействии размножения организмов на ход геохимических явлений.

Это появление имело место в очень далекие времена, которые остаются вне пределов наших геологических исследований. Однако основные черты процесса остаются нетронутыми. Можно всегда представить явление той же формулой геометрической прогрессии, определить константы Δ, a, ε, N_1, V. Скорости не пре-

[1] Спирилла — один из родов бактерий. — Ред. издания Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

вышают сотых долей сантиметра, величины Δ никогда не достигают единицы. Вычисления для теоретических организмов, шаровых и цилиндрических, нам позволяют предвидеть константы их размножения по отношению к биосфере, но они указывают только порядок явления. Они дают всегда числа большие, чем те, которые получаются прямым наблюдением.

Кинетическая энергия размножения на гектар — A_1 и A — всегда гораздо меньше, чем у протистов; она никогда не достигает (и не может достигнуть) чисел порядка 10^{12}.

Ее изучение дает нам точные указания на изменения, которые имели место в процессе эволюции этих существ, и возбуждает новые гипотезы, которые остаются вне явлений, изучаемых нами до сих пор.

Это глубокое изменение явлений можно было предвидеть, если наши выводы об основном значении дыхания организмов и их газового обмена, а также свойства газа в явлениях размножения отвечают действительности.

Появление многоклеточных глубоко изменило газовый обмен организма. Масса организма и его размеры дают в этом случае только приблизительное представление о его величине, так как этот обмен совершается внутри организма.

Жизненный механизм в этом отношении изменился целиком снизу доверху. Кинетическая энергия, которая вызывает движение масс определенных размеров на нашей планете вследствие размножения организмов, не может нам дать полного представления о процессах, если эти процессы проявляются в газовом обмене.

Bourg la Reine Близ Парижа,
В. Вернадский, ноябрь 1925

ДОБАВЛЕНИЕ

1

Несколько замечаний о понятии скорости передачи жизни[1]

1. Я рассматриваю скорость V как реальную скорость, как явление, которое реально происходит в природе, а не как математическое понятие. Эта скорость соответствует полному расцвету размножения — потенциальному размножению.

Опираясь на это понимание V, я указываю: 1) отношения, которые существуют между дыханием и максимальным значением V, и 2) существование высшего предела для V для всякого живого вещества.

Уравнения, которые связывают V с a, Δ и k, находятся в полном согласии с этим пониманием. Это следующие уравнения:

[1] Эти замечания вызваны соображениями моего молодого друга К.Д. Старинкевича, который, хотя болеет, пожелал тем не мение углубиться в проблемы, которые я здесь разбираю, и сообщил мне свои наблюдения.

$$V = \frac{46383{,}93 \cdot \lg 2 \cdot \Delta}{18{,}70762 - \lg k} = \frac{46383{,}93 \cdot \lg (a + 1)}{18{,}70762 - \lg k} \qquad (1, 2)$$

Отношения с числом стационарного состояния живой природы могут быть выражены тем же способом. Формула следующая:

$$V = \frac{46383{,}93 \cdot \lg (a + 1)}{\lg N_{\max}} = \frac{13963{,}3 \cdot \Delta}{\lg N_{\max}}.$$

Во всех этих случаях V должна быть так же постоянна и характерна для живого вещества, как Δ, k и N.

2. Скорость V определяет передачу жизни (вследствие размножения) и должна быть измерена по направлению земного экватора, который является самой большой длиной, которая может быть достигнута таким движением. Вследствие этого движения неподвижные организмы, которые находились при начале этого движения, будут представлять в конце его звенья цепи из маленьких аналогичных живых существ, расположенных рядом, одно с другим, без промежутков. В то же самое время это же явление будет иметь место всюду в биосфере, во всех направлениях.

Процесс перемещения этих маленьких существ может иметь место в биосфере только вследствие их газового обмена с окружающей средой (их дыхания) и их питания. Явление дыхания стоит на первом месте, так как оно продолжается и никогда не прерывается в ходе размножения организмов. В формуле, характеризующей V, он представлен Δ (или a), которая, несомненно, является определенной функцией.

Скорость V, выраженная в сантиметрах в секунду, находится, таким образом, в очевидной и закономерной связи с газовым обменом и не может меняться без ответного изменения этого обмена.

3. Она представляет ход размножения живого вещества в биосфере (проявление этого движения на самой большой окружности биосферы). В момент полного расцвета размножения это — *максимальная скорость для живого вещества, которая не может быть превзойдена*.

Можно математически представить это явление как движение организма, который проходит экватор, всю его длину со скоростью V; эта скорость остается все время одной и той же во все время прохождения. Длина проходимого пути — экватора — отвечает полному проявлению силы воспроизведения живого вещества, и предел ей определяется только внешним непреодолимым препятствием — отсутствием места.

На этом протяжении ни одно явление не может изменить эту скорость, величина которой определяется газовым обменом, размерами организма и энергией, которая ему присуща и которая проявляется в акте размножения.

То же самое происходит во всех направлениях в биосфере.

Скорость V по отношению к одному организму из их совокупности (число N таких организмов — всегда одинаковых — определено) означает полный расцвет его энергии, выраженный в сантиметрах в секунду. Прохождение длины экватора — это выражение его максимальной кинетической энергии, неизменной, которая

должна будет неизбежно проявляться в акте размножения в тех случаях, когда условия среды это позволяют.

2

4. Можно получить то же численное значение *V* другим способом, опирающимся на соображения, выведенные из явлений механики аналогичных, но не идентичных. Эти соображения дают представление об этой скорости неизбежным образом неполные и отчасти неверные. Числовое значение той же скорости *V* получают, определяя *среднюю скорость (*не реальную) передачи жизни в *биосфере потомством одного организма*. Ясно, что, если средняя скорость будет равна *V*, время, необходимое для того, чтобы заполнить один кубический сантиметр маленькими существами, делается все более и более коротким и скорости, приведенные к секунде, должны достичь чисел, которые превосходят — и значительно — *V*.

Это представление процесса есть отвлеченное построение, которое не соответствует реальному явлению, и следствия, которые отсюда вытекают, — путем экстраполяции — могут, следовательно, не соответствовать реальности.

5. Чтобы видеть это, надо не упустить из виду:

в биосфере не может никогда существовать одиночного организма, одного-единственного, который представлял бы некоторое живое вещество. *В ней существуют только совокупности организмов, живое вещество в целом*. Это — логическое следствие отсутствия самопроизвольного зарождения. Число живущих особей однородного живого вещества нам неизвестно, но нет никакого сомнения, что оно не дело случая. Это число определяется динамическим равновесием большого масштаба, которое представляет собой в биосфере живое вещество;

движение растекания жизни не может быть независимым от среды, в которой оно происходит.

Этот факт стоит в прямом противоречии с предпосылками отвлеченной механики, которыми мы пользуемся.

Это движение регулируется газовым обменом и стационарным числом, которое само, по-видимому, находится в связи с этим обменом. Из этого следует, что с точки зрения логики нет необходимости принимать, что растекание живых организмов, их движение по окружности экватора, должно нам казаться ускоренным движением. Может быть, воздействие среды — при помощи механизма газового обмена — регулирует это движение и «средняя скорость» этого движения (отвлеченное построение) в действительности является максимальной скоростью (явление существующее);

действительное явление ограничено стационарным числом живого вещества, которое не может быть превзойдено, — механическая модель дает нам представление о движении бесконечном.

Ограничение естественного процесса, подчиненного правилу инерции, нужно искать в воздействии среды — в газовом обмене. Может даже быть в этих условиях, что скорость *V* не сможет быть достигнута, если число особей будет близко к стационарному числу (или густота их распределения будет очень велика). Скорость *V* проявляется только в условиях оптимального размножения. Мо-

жет быть, эти условия не могут установиться, когда число организмов становится слишком большим, так как газовый обмен делается тогда трудным, стесненным.

3

6. Есть соображения и опытные данные, которые, по-видимому, дают эмпирическое обоснование такому действию среды и доказывают его существование.

Я предполагаю разобрать этот вопрос во второй части этой статьи, здесь я ограничусь несколькими краткими замечаниями.

Наблюдения, о которых я говорю, делались многократно, они не новы. Во второй половине прошлого века К. Земпер (K. Semper) собрал часть прежних наблюдений и дополнил их новыми. Он установил, что ход размножения колебался как функция объема воды — места обитания организмов. В настоящее время Р. Пирл (R. Pearl) и С. Паркер (S. Parker, 1922) опубликовали опыты над Drosophila и выразили с большой точностью в числах влияние густоты населения этих мух на ход их размножения. Раньше этого Р. Пирл и Ф. Сюрфес (F. Surface) установили тот же факт для кур. Во всех этих случаях наблюдают понижение воспроизведения, т.е. уменьшение числового значения Δ, в соответствии с увеличением числа особей, существующих в том же объеме (и на той же поверхности) в среде, богатой пищей, и в температурных условиях, благоприятных для жизни.

7. Объяснение этих фактов нужно искать в дыхании, так как температура и условия питания соответствуют оптимальным условиям жизни.

По-видимому, верно, что газовый обмен организмов, взятый в масштабе биосферы, может иметь место только в очень определенных и узких границах.

Газовый обмен при дыхании касается прежде всего *свободного кислорода*. Весь свободный кислород есть продукт жизнедеятельности организмов. *Масса этого газа в биосфере* (в этом состоянии) порядка 10^{21} г[1], *т.е. того же порядка, как масса живого вещества*.

Ясно, что увеличение числа организмов, образование их стационарных чисел, не может иметь места без глубоких отражений не только в их газовом обмене, но и в истории свободного кислорода в биосфере, масса которого очень ограниченна.

Случай не играет никакой роли в механизме биосферы и в жизни. Скорость передачи жизни в биосфере различных видов живого вещества регулируется массой свободного кислорода, который сам является продуктом и проявлением жизни[2].

---

[1] *Vernadsky W.* La géochie. P., 1924. P 50 suiv. — $1{,}5 \cdot 10^{21}$ gr. Тоже на русском: Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 1. С. 51. — Ред. издания Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

[2] Находясь в 1922—1926 гг. в командировке во Франции и нуждаясь в средствах для продолжения исследований, В.И. Вернадский обратися в 1926 г. в Фонд поощрения научных работ, созданный Розиталем, крупным поставщиком жемчуга для ювелирных магазинов Парижа. Из этого фонда он получил 40 000 франков, что позволило продовжить творческую командировку на один год. Во Франции был опубликован только реферат отче та ученого фонду Розенталя. Полный его текст впервые публикуется на русаком языке. Анализ значения этой работы «Живое вещество в биосфере» дан в статье Н.М. Черновой в Приложении. — Ред. издания Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

О ДАВЛЕНИИ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА В БИОСФЕРЕ[1]

Совокупность организмов, т. е. живое вещество[2], находится в беспрестанном движении в биосфере, распространяется там без перерыва путем своего воспроизведения. Это движение независимо от движения изолированных организмов, оно совершенно аналогично движениям других материальных совокупностей биосферы. В результате существует глубокая аналогия между некоторыми свойствами газов (совокупностей молекул) и живого вещества (совокупностей организмов)[3]. Давление живого вещества соответствует давлению газовой массы.

Изучение явлений воспроизведения показывает, что давление живого вещества может быть выражено количественным сравнением размножения разных организмов, без учета их различных морфологических особенностей и бесконечных вариаций их воспроизведения. Это давление представляет постоянную характеристику для каждого вида. Давления различных живых веществ могут быть сведены к одной и той же единице. Амплитуда варьирований достигает $3 \cdot 10^{29}$ (гигантская бактерия)[4].

Можно выразить воспроизведение (размножение делением) многочисленных протистов (бактерии, перидинеи, раснитчатые, одноклеточные водоросли и т.д.) следующей формулой: $2^{n\Delta_d} = N_n$, где n представляет собой количество суток (24 часа) , которые следуют за первым, делением; Δ_d — количество делений начальной клетки (поколения) за 24 часа; N_n — количество индивидов, образованных делением начальной клетки и ее потомством за n суток по 24 часа.

Постоянная a_d, равная $2^{\Delta d}$–1, может быть взята за меру давления живого веществва в биосфере. Следующая таблица дает представление о его вариантности.

Бактерии	Значение a_d	
Bacterium coli commune	$5{,}04 \cdot 10^{19}$	Buchner, 1888[5]
Грибы		
Saccharomyces cerevisice	$6{,}45 \cdot 10^{5}$	Slatov, 1919
Диатомеи		
Nitzschia putrida	26,86	Richter, 1909
Инфузории		
Paramecium caudatum	1,14	Метальников, 1922

---

[1] Статья была впервые опубликована на французском языке: C.r. Acad.Sci. 1925. Т. 180. С. 2078-2081. На русском языке публикуется впервые. Практически весь материал статьи вошел в опубликованную в 1925 г. В журнале «Правда» статью «Ход жизни в биосфере». Печатается по изданию: Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

[2] *Vernadsky W.* La geochimie. P.: Alsan, 1924. P. 52.

[3] *Vernadsky W.* Loc. cit. 1924. P. 264.

[4] Бактерия, которая подтвергается делению каждые 17 минут, т.е. у которой самая большая повторяемость, наблюдаемая при воспроизведении.

[5] Я взял данные этих ученых для расчета.

Насекомые		
Aphis mall	$1{,}35\cdot10^{-1}$	Tougard, 1834
Doryphora decemlineata	$4{,}76\cdot10^{-2}$	Brandt, 1879
Зеленые растения		
Solanum nigrum	$2{,}88\cdot10^{-2}$	Комаров, 1922[2]
Пшеница (средняя во Франции)	$1{,}34\cdot10^{-2}$	Joulie-Garola
Птицы:		
Курица (средняя)	$4{,}90\cdot10^{-3}\,\frac{6{,}69\cdot10^{-3}}{m}$[3]	Geydin, 1865
Курица (максимальная)	$5{,}97\cdot10^{-3}\,\frac{7{,}84\cdot10^{-3}}{m}$	Brandt, 1879
Corpadocus mexicanus frontalis	$4{,}42\cdot10^{-3}\,\frac{1{,}89\cdot10^{-3}}{m}$	Bertgold, 1913
Млекопитающие:		
Морская свинка	$1{,}53\cdot10^{-2}$	Hensen, 1881
Лошадь	$5{,}48\cdot10^{-4}$	Leukart, 1851
Слон	$8{,}9\cdot10^{-5}$	Darwin, 1859

Ясно, что постоянная a_d, не является единственной, которая по отношению к воспроизведению регулирует геохимическое проявление жизни в биосфере. Однако из ее рассмотрения можно вывести многочисленные количественные последствия, важные для изучения жизни.

[1] Часное сообщение.

[3] m — количество лет после первого поколения

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЭТЮДЫ

I. О СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЖИЗНИ В БИОСФЕРЕ[1, 2]

1. Живые организмы, взятые во всей совокупности (*живое вещество*)[3] , 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)[4], 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.

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 биосферу[5].

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:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 \quad , \tag{1}$$

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.

---

[1] Представлено в Академию наук 12 мая 1926 г. Печатается по изданию: Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

[2] Статья опубликована на французском языке в: Изв. АН СССР. Сер. 6. 1926. Т. 20, № 9. С. 727–744.

[3] *Vernadsky W.* La géochimie. P.: Alcan, 1924. P. 52.

[4] Вернадский В.И. Биосфера. Л.: Науч. хим.-тех. изд-во, 1926. С. 30.

[5] *Vernadsky W.* La géochimie. P.: Alcan, 1924. P. 72.

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.

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

$$M = p \cdot N_{\max}, \tag{2}$$

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 $5{,}10065 \cdot 10^{18}$ 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 $5{,}10065 \cdot 10^{18}$ см^2 непрерывным слоем таким образом, что каждый организм занял бы минимальный участок. Этот участок, равный k см^2, определялся бы самым большим размером организма (r) в своей проекции на эту площадь, т.е.

$$k_1 = r^2, \tag{3}$$

где r есть самый большой размер организма, когда он принимает участие в образовании этого слоя.

Я назову таким образом образованное максимальное стационарное число N_{1max}. Оно определяется уравнением

$$N_{1\max} = \frac{s}{k_1}, \tag{4}$$

где $S = 5{,}10065 \cdot 10^{18}$ 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,

$$M_1 = p \cdot N_{1\max}, \tag{5}$$

может существовать только ограниченное время. Она *неустойчива*. Она непроизвольно 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

$$N_{3\max} = \frac{s}{k_3}, \tag{6}$$

Это число определяет очень важную, характерную особенность вида. Масса M_3, которая соответствует N_{3max}, 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 не напластованными, 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_{1max} и N_{3max}, мы приняли во внимание покров земной поверхности живым веществом толщиной, всегда равной высоте индивида. Неразрывный слой этого вещества, соответствущий N_{1max}, 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_{3max} 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_{1max} 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 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 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 $5{,}10065 \cdot 10^{18}$ см^2. Однако очевидно, что суша занимает только 29,2 % этой площади, а моря покрывают остальную 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 морей.[1] 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 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 здесь наблюдений, особенно для M_3. Для масс M_1 можно уже сделать некоторые выводы, так как массы M_1 должны варьировать у

[1] *В. Вернадский*. Биосфера. Л.: Науч.-хим.-техн. изд-во, 1926. С. 144.

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 вида[1]. Иначе говоря, размножение может быть выражено геометрической прогрессией, определенной и специфической для каждого вида, основание которой равно 2. Следовательно, можно написать следующее соотношение:

$$2^{n \cdot \Delta} = N_n, \tag{7}$$

где n — число суток (24 часа), в которые образуются воспроизведением N_n организмов, Δ — количество генераций[2] (время родов) за одни сутки (24 часа)[3].

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 месте[4].

---

[1] У крыс и людей.

[2] Δ не является вообще целым числом, и в большинстве случаев это дробь. Δ не является, следовательно, реальным числом поколений в биологическом смысле.

[3] Δ соответствует реальным поколениям только в случае с протистами, которые размножаются делением (удвоением).

[4] *Вернадский В.* Ход жизни в биосфере // Природа. 1925. №10/12. С. 27

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 неточен. Он порядка $n\cdot10^{-4}$, даже, может быть, $n\cdot10^{-5}$ (большие млекопитающие).

В дальнейшем в этих этюдах я вернусь к следствиям, которые можно извлечь из обсуждения указанных выше пределов, следствиям, которые мне представляются важными[1].

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^1_{max} и N^3_{max} могут быть получены различными видами в различное время, определенное для каждого из них. Можно вычислить это время, пользуясь следующими формулами:

$$2^{n'\Delta} = N^1_{max'} \tag{8}$$

$$2^{n''\Delta} = N^3_{max'} \tag{9}$$

Из этих формул вытекает

$$n' = \lg N^1_{max} / \Delta\lg 2 \tag{10}$$

$$n'' = \lg N^3_{max} / \Delta\lg 2 \tag{11}.$$

Заменяя N^1_{max} и N^3_{max} другими их значениями (§ 5, 6), получаем

$$n' = \lg S - \lg k_1 / \Delta\lg 2 = E_1 \tag{12}$$

$$n' = \lg S - \lg k_3 / \Delta\lg 2 = E_3 \tag{13}$$

---

[1] *Вернадский В.* О размножении организмов и его значении в сроении биосферы // Изв. АН СССР. Сер. 6. 1926. Т. 20, №9. С. 721.

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 (lgS).

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 $n \cdot 10^{-5}$ см[1] (бактерии) и $n \cdot 10^4$ см^2 (позвоночные и зеленые растения).

Варьирование ареалов жизни может быть дано только с недостаточной точностью. Возможно, что пределы этого варьирования соответствуют $n \cdot 10^{-8}$ см^2 (бактерии?) и $n \cdot 10^{11}$ 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 ε_3 отсутствуют вообще, и ез 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:

1,2·86 400 приблизительно $1 \cdot 10^5$ с,

254217·86 400 приблизительно $2 \cdot 10^{10}$ с.

Таким образом, интенсивность геохимической энергии живых организмов такова, что если среда эта позволяла бы, то организмы образовывали 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_1. Таким образом, у бактерий (*Vibrio cholerae*, живущих в воде) ε_3 по-

---

[1] *n* больше чем 5?

[2] *n* больше чем 2-3?

чти 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 $2 \cdot 10^{10}$ с у ε_1), несмотря на большое различие между k_3 ($= 3 \cdot 10^{11}$ см^2) и k_1 ($= 5 \cdot 10^4$ см^2).

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 $\varepsilon_1 \cdot 86\,400$ с эта энергия распространится на всей земной поверхности.

Остановим наше внимание на некоторой точке А 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 ε_1 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 ез 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:

$$V_1 = D/86400\ \varepsilon_1 \text{ см/с} \qquad (14)$$

где *D* есть длина экватора, равная $40{,}075721 \cdot 10^8$ 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 чыражения для ε_1 (§ 17), может быть представлена в следующем виде:

$$V_1 = \frac{D_1 \lg 2\Delta}{86400\ (\lg S - \lg k_1)}. \tag{15}$$

Заменяя постоянные, независимые от живого вещества, их числовыми значениями, мы получим уравнение в более простой форме:

$$V_1 = \frac{D_1\ 40{,}075721 \cdot 10^8 \lg 2\Delta}{86400\ (\lg S - \lg k_1)} = 13962{,}96 \frac{\Delta}{\lg S - \lg k_1} = \mathrm{T} \frac{\Delta}{\lg S - \lg k_1}\ \text{см/с}, \tag{16}$$

где S равна площади земной поверхности ($5{,}10065 \cdot 10^{18}$ см^2), Δ и k_1 характеризуют воспроизведение и размеры организма, T является неизменным числом, соответствующим размерам планеты, учитывая дневное обращение земного шара.

Формула (16) $V_1 = \mathrm{T} \frac{\Delta}{\lg S - \lg k_1}$ 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:

$$\frac{V_1}{V'_1} = \frac{\Delta(\lg S - \lg k'_1)}{\Delta(\lg S - \lg k_1)} \tag{17}$$

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.

$$V_3 = \mathrm{T} \frac{\Delta}{\lg S - \lg k_3}, \tag{18}$$

$$\frac{V_3}{V'_3} = \frac{\Delta(\lg S - \lg k'_3)}{\Delta(\lg S - \lg k_3)}. \tag{19}$$

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:

$$\frac{V_1}{V'_1} = \frac{\Delta(\lg S - \lg k'_1)}{\Delta(\lg S - \lg k_1)} = \frac{\Delta(\lg S - \lg k'_1)}{\Delta(\lg S - \lg k_1)} \tag{20}$$

(варьирование размеров организма) ;

$$\frac{V_1}{V''_1} = \frac{\Delta(\lg S - \lg k_1)}{\Delta''(\lg S - \lg k_1)} = \frac{\Delta}{\Delta''} \tag{21}$$

(варьирование воспроизведения) ;

$$\frac{V_1}{V'''_1} = \frac{\Delta(\lg S - \lg k'''_1)}{\Delta'''(\lg S - \lg k_1)} \tag{22}$$

(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 завершенному 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 незыблемой и представляет *свойство организма*, тела, всегда автономного в своем механизме по отношению к биосфере. Поскольку Δ не может изменяться спонтанно, этот ход должен обяза-

тельно 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 см^2 или k_3 см^2).

29. Эта идея реального существования геохимической энергии, определяемой размерами планеты (в формулах постоянными T и lgS), не представляется нам привычной и требует, конечно, эмпирического подтверждения. Я надеюсь доказать в продолжении этих этюдов, что эта эмпирическая база действительно существует[1].

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 33000 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.

---

[1] *Вернадский В.* О размножении организмов и его значении в сроении биосферы. Изв. АН СССР. Сер. 6. Т. 20, №9. С. 722.

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:

$$E_1 = pV_1^2 / 2, \tag{23}$$

$$E_3 = pV_3^2 / 2, \tag{24}$$

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

$$E_1 = M_1V_1^2 / 2, \tag{25}$$

$$E_1 = M_3V_3^2 / 2, \tag{26}$$

Я вернусь в продолжении этих этюдов к последствиям, которые вытекают из выведенных формул.

II. О НАИБОЛЬШЕЙ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЖИЗНИ В БИОСФЕРЕ[1]

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

[1] Представлено в Академию наук 22 сентября 1926 г. Опубликовано на французском языке в: Изв. АН СССР. Сер. 6. 1927. Т. 21, №3/4. С. 241-254. Перевод Е. В. Соловьевой. На русском языке опубликовано впервые в издании Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с., по которому печатается здесь.

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.

Известно[1], что частицы, диаметр которых равен $3 \cdot 10^{-5}$ см и плотность равна плотности Земли (5,5 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 движении[2] 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 °С и давлении 760 мм)[3].

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.

---

[1] См.: *Ollivier H.* Cours de physique générale, II. P., 1922. P. 225.

[2] Броуновское движение объясняется главным образом действием неравномерных и беспрестанных 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. cut. P. 168.

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 уравновешивают 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— CO_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 бактерий[1].

37. На настоящей стадии развития науки невозможно сделать сколько-нибудь полный анализ явлений дыхания бактерий. Однако существующие данные достаточны для специальной проблемы, которая нас интересует.

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

---

[1] Ультравирусы — бактериофаги Ф. д'Эрелля должны быть подчинены тем же законам. По мнению Ж. Бронфенбреннера (Sciens. W., 1926. P. 52), бактериофаги — в течение их жизни в растворах — не указывает на существование газового обмела. 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).

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 выданной 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 движением[1]. 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 33100 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 %) 32808 см/с.

Жизненный оптимум для бактерий соответствует температуре гораздо более высокой, чем 0 °С: бактерии существуют, но плохо размножаются при этой тем-

[1] Представляется, что броуновские движения тончайших пылевых частиц и живых частиц ничем не отличаются. Живые частицы находятся, однако, в неприкращающемся обмене с газовыми молекулами, которые пронизывают жидкость — мать броуновского движения. Этот фактор мог бы указывать на то, что газовый обмен бактерий представляет собой явление совсем другого порядка, чем движение молекул жидкостей, независящее от него.

пературе. Предел скорости передачи их жизни обязательно намного превосходит 3208–33100 см/с. Он будет, например, равен, при 21°С, примерно 34320–34018 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 дыхания [1].

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 проявления[2].

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, 1000–3000 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 и Δ (§ 5, 6,15, 22).

Как исключение, с достаточной точностью был изучен М. Вордом[3] Bacillus ramosus, встречающийся в водах Темзы.

По его наблюдениям,[4] у этих бактерий:

Размеры максимальные	$(6\cdot10^{-4})$–$(1{,}75\cdot10^{-4})$ см
минимальные	$(3\cdot10^{-4})$–$(1{,}75\cdot10^{-4})$ см
Оптимальная температура воспроизведения	25–28°С

[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.* Proccedings of R. Soc., 58. L., 1895. P. 265 sg. Encyclop. Britann. II th ed. 3. L., 1910. P. 156.

[4] *Ward M.* 1. C. 1895. P. 271, 458 Sg.

Минимальная температура воспроизведения[1] 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[2]
Δ_{opt}	48–41,14[3]
Δ_{min}	4–3,60[4]
k_{1max}	3,6–10 см$^{-7}$ [5]
k_{1min}	9.10^{-8} см[26] .

Используя формулу (15) или (16) § 23, например выражение

$$V_1 = 130962{,}96\ \frac{\Delta}{\lg S - \lg k_1}\ \text{см/с},$$

и подставляя числовые данные Δ и k_1 ($\lg S = 18{,}70762$), получаем для V_1 следующие значения:

$$V_1 = \frac{3962{,}96 \cdot 53{,}333}{18{,}70762 - \lg (3{,}6 \cdot 10^{-7})} = 29609 \text{ см/с}, \Delta = 53{,}333; k_1 = 3{,}6 \cdot 10^{-8};$$

$$V_1 = \frac{3962{,}96 \cdot 48{,}333}{18{,}70762 - \lg (9 \cdot 10^{-7})} = 26022 \text{ см/с}, \Delta = 48; k_1 = 9 \cdot 10^{-8};$$

$$V_1 = \frac{3962{,}96 \cdot 41{,}14}{18{,}70762 - \lg (3{,}6 \cdot 10^{-7})} = 26648 \text{ см/с}, \Delta = 41{,}14; k_1 = 3{,}6 \cdot 10^{-7};$$

$$V_1 = \frac{3962{,}96 \cdot 48}{18{,}70762 - \lg (3{,}6 \cdot 10^{-7})} = 22839 \text{ см/с}, \Delta = 48; k_1 = 3{,}6 \cdot 10^{-7};$$

$$V_1 = \frac{3962{,}96 \cdot 41{,}14}{18{,}70762 - \lg (9 \cdot 10^{-8})} = 22305 \text{ см/с}, \Delta = 41{,}14; k_1 = 9 \cdot 10^{-8};$$

$$V_1 = \frac{3962{,}96 \cdot 4}{18{,}70762 - \lg (9 \cdot 10^{-8})} = 2169 \text{ см/с}, \Delta = 4; k_1 = 9 \cdot 10^{-8};$$

$$V_1 = \frac{3962{,}96 \cdot 4}{18{,}70762 - \lg (3{,}6 \cdot 10^{-7})} = 2221 \text{ см/с}, \Delta = 4; k_1 = 3{,}6 \cdot 10^{-7};$$

---

[1] «Интересно отметить, что 8,5 °C, как правило, не минимальная температура, хотя и приближается к ней» (Ward M. 1. C. 1895. P. 458).

[2] Δ — 86 400/1620 — 53,333 (см. §15).

[3] Аналогично Δ — 86 400/1800–48; Δ — 86 400/2100–41,14.

[4] Δ — 86 400/1800—4; Δ — 86 400/2400—3,6.

[5] k_1 — $(6 \cdot 10^{-4})^2$ — $3{,}6 \cdot 10^7$ (см. §5, ф. 3).

[6] Аналогично k_1 — $(3 \cdot 10^{-4})^2 - 9 \cdot 10^{-8}$

$$V_1 = \frac{3962{,}96 \cdot 3{,}6}{18{,}70762 - \lg(9 \cdot 10^{-8})} = 1953 \text{ см/с}, \Delta = 3{,}6; k_1 = 9 \cdot 10^{-8};$$

$$V_1 = \frac{3962{,}96 \cdot 4}{18{,}70762 - \lg(9 \cdot 10^{-8})} = 1953 \text{ см/с}, \Delta = 4; k_1 = 9 \cdot 10^{-8};$$

Таким, образом, скорость передачи жизни в Bacillus ramosus в оптимальных условиях жизни не достигает 27000 см/с и не может, вероятно, значительно превзойти 29500 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 далее в наименее благоприятных для организма условиях.

Можно взять в первом приближении[1] 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 максимальне и минимальные пределы величины 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) ;

$k_1 = 4 \cdot 10^{-8}$–$6 \cdot 10^{-8}$ см^2 (Mace, 1895);

$t_{opt} = 37$ °C; (Heherwerth) $v_1 = 32\,770{,}8$ см/с; $v_1 = 32\,994{,}6$ см/с.

Другие определения:

$\Delta = 65{,}45$ (Buchner, 1888); $v_1 = 35\,007{,}7$ см/с; $\Delta = 72{,}4$–$69{,}1$ (M.Barber)[2];

$v_1 = 35\,215{,}0$ см/с.

2. Bacterium typhi (Bacillus typhosus)[3]

$t_{opt} = 37$ °C (Heherwerth);

$\Delta = 49{,}655$ (Heherwerth, 1901; Müller, 1895);

$k_1 = 4 \cdot 10^{-8}$–$6 \cdot 10^{-8}$ см^2 (Mace, 1895);

$V_1 = 26\,740{,}0$ см/с, $V_1 = 26\,558{,}8$ см/с.

3. Vibrio cholerae asiat. (Spirillum cholerae)[4]

t_{opt}?; $k_1 = 4 \cdot 10^{-8}$ см^2 (В. Омелянский, 1924);

$\Delta = 72$ $k_2 = (3 \cdot 10^{-8})$ — $(6 \cdot 10^{-8})$ 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. 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 ($k_1 = 3 \cdot 10^{-9}$ см^2), получаем[5] $v_1 = 36\,920$ см/с, $v_2 = 38\,259$ 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 34000 см/с (§ 48).

Тогда находим у Vibrio cholerae $\Delta = 63{,}14$; следовательно, интервал между двумя генерациями будет равен 22,8 минуты.

---

[1] *Heherwerth F.* Archiv f. Hyg. 39. M. 19Pi, p.352 Sg. 9 Mace. Diction. De physlol., p. I. P. 1895, p. 1035; *M. Baber*. Journal of infect. Descases, №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 Bacillus coli должны быть очень маленькими. Принимая их длину за $5 \cdot 10^{-5}$ см ($k_1 = 2{,}5 \cdot 10^{-9}$ см), V_1 будет соответственно 353331 и 37010 см/с.

[3] *Mace*, I.c. 1895; *Heherwerth F.*, I.c. 1901; *Barber M.* I.C. 1908; *Müller M.* // Zeitschr. f. Hyg. 20. L. 1895. P. 263 Sg.

[4] *Buchner H.*, *Longard K. et Riedlin G.* Centrallie. f. Bacter. 2. J. 1887; *Mace*, I.c. I. 1895, p. 10359; *Омелянский В.* Учебник микробиологии. 4-е изд. Л., 1924.

[5] Вообще индивиды тем меньше, чем быстрее размножение.

Это число находится в точном соответствии с наблюдениями Бюхнера и может быть — без противоречия с принципами механики — взято за среднюю 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 организма[1].

Бактерии — это единственные организмы, скорость передачи жизни которых достигает предельной величины[2]. 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 организмами.[4]

---

[1] Большая величина этого числа несомненна, и не понятно, 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, 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 51670–52280 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.

55. Размеры газовых молекул известны нам сегодня с достаточной точностью.[1] Эти размеры имеют порядок нескольких единиц 10^{-7} см, и поле, которое им соответствует, имеет порядок 10^{-13}–10^{-14} см^2. Этот порядок четко отличается от порядка размеров (10^{-8} см) и поля существования (10^{-15}–10^{-16} см^2) атомов.

Мельчайшие организмы, какие мы знаем, имеют размеры порядка 10^{-5} см ($k_1 = 10^{-9}$–10^{-10} см^2). 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} см^2).

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} см^2, нас приводит к любопытным заключениям по отношению к величинам Δ и V_1.

[1] 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 — раз мерам части пространства, захваченного силами, свойственным молекулам или атомам.

БИОСФЕРА[1]

ОТ АВТОРА

Среди огромной геологической литературы отсутствует связный очерк биосферы, рассматриваемой как единое целое, как закономерное проявление механизма планеты, ее верхней области — земной коры.

Сама закономерность ее существования обычно оставляется без внимания. Жизнь рассматривается как случайное явление на Земле, а в связи с этим исчезает из нашего научного кругозора на каждом шагу проявляющееся влияние живого на ход земных процессов, не случайное развитие жизни на Земле и не случайное образование на поверхности планеты на ее границе с космической средой, особой охваченной жизнью оболочки — *биосферы.*

Такое состояние геологических знаний теснейшим образом связано со своеобразным, исторически сложившимся представлением о геологических явлениях как о совокупности проявления мелких причин, *клубка случайностей.* Из научного сознания исчезает представление о геологических явлениях как о явлениях *планетных,* свойственных в своих законностях не только одной нашей Земле, и о строении Земли как о согласованном в своих частях *механизме,* изучение частностей которого должно идти в теснейшей связи с представлением о нем как о целом.

В общем в геологии, в явлениях, связанных с жизнью, изучаются частности. Изучение отвечающего им *механизма* не ставится как задача научного исследования. И когда она не ставится и ее существование не осознается, исследователь неизбежно проходит мимо ее проявлений, окружающих нас на каждом шагу.

В этих очерках автор попытался иначе посмотреть на геологическое значение явлений жизни.

Он не делает никаких гипотез. Он пытается стоять на прочной и незыблемой почве — на эмпирических обобщениях. Он, основываясь на точных и бесспорных фактах, пытается *описать* геологическое проявление жизни, дать картину совершающегося вокруг нас планетного процесса.

При этом, однако, он оставил в стороне *три предвзятые идеи,* исторически выясненное проникновение которых в геологическую мысль кажется ему противоречащим существующим в науке эмпирическим обобщениям, этим основным достижениям естествоиспытателя.

Одна из них — это указанная выше идея о геологических явлениях как о *случайных совпадениях причин,* или слепых по самому существу своему, или кажущихся такими по их сложности и множественности, не разложимых в данную эпоху научной мыслью.

---

[1] Впервые опубликовано: Л., Науч. хим.-тех. изд-во, 1926. 146 с.; 2-е изд. на фр. яз. — P.: Alcan, 1929. T. XIII. 232 p. В дальнейшем опубликовано в: Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. С. 7-102; Избр. тр. по биогеохимии. М.: Мысль, 1967.376 с.; на англ. яз. — L. Synergetic-Press, 1986.82 p.; Биосфера г и ноосфера. М.: Наука, 1989. С. 6-116. Печатается по изданию: Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

Это обычное в науке предвзятое представление только отчасти связано с определенным философско-религиозным миропониманием; главным образом оно является следствием неполного логического анализа основ эмпирического значения.

Другие распространенные в геологической работе предвзятые идеи кажутся автору всецело связанными с чуждыми эмпирической основе науки, вошедшими в нее извне построениями. С одной стороны, принимается логически неизбежным существование *начала жизни,* ее возникновение в ту или в другую стадию геологического прошлого Земли. Эти идеи вошли в науку из религиозно-философских исканий. С другой стороны, считается логически непреложным отражение в геологических явлениях *догеологических стадий развития планеты,* имевшей облик, резко отличный от того, какой подлежит нашему научному исследованию. В частности, считается непреложным былое существование огненно-жидкой или горячей газообразной стадии Земли. Эти представления вошли в геологию из области философских, в частности космогонических, интуиций и исканий.

Автор считает логическую обязательность следствий из этих идей иллюзией и принятие во внимание этих следствий в текущей геологической работе в данный момент развития геологии вредным, тормозящим и ограничивающим научную работу обстоятельством.

Не предрешая существования *механизма планеты,* согласованною в единое целое бытия ее частей, он пытается, однако, охватить с этой точки зрения имеющуюся эмпирически научно установленную совокупность фактов и видит, что при таком охвате геологическое отражение жизни вполне отвечает такому представлению. Ему кажется, что существование планетного механизма, в который входит как определенная составная часть жизни и, в частности, область ее проявления — биосфера, отвечает всему имеющемуся эмпирическому материалу, неизбежно вытекает из его научного анализа.

Не считая логически обязательным допущение начала жизни и отражения в геологических явлениях космических стадий планеты, в частности существования для нее когда-то огненно-жидкого или газообразного состояния, автор выбрасывает их из своего круга зрения. И он, не находя никакого следа их проявления в доступном изучению эмпирическом материале, полагает возможным поэтому считать эти представления ненужными надстройками, чуждыми имеющимся крупным и прочным эмпирическим обобщениям. В дальнейшем анализе этих обобщений и связанном с ними теоретическом синтезе следует оставить в стороне эти в них не находящие опоры философские и космогонические гипотезы. Надо искать новые.

Печатаемые два очерка — «Биосфера в космосе» и «Область жизни» — независимы друг от друга, но тесно связаны между собой указанной выше общей точкой зрения. Необходимость их обработки выявилась для автора во время работы над явлениями жизни в биосфере, которую он ведет неуклонно с 1917 г. [1]

Прага *В. И. Вернадский*
Февраль 1926

[1] Очерки первый и второй публикуются с дополнениями автора, сделанными им для французского издания 1929 г. – Ред. 1994

ОЧЕРК ПЕРВЫЙ

БИОСФЕРА В КОСМОСЕ

Невозмутимый строй во всем,
Созвучье полное в природе.
Ф. Тютчев, 1865

БИОСФЕРА В МИРОВОЙ СРЕДЕ

1. Своеобразным, единственным в своем роде, отличным и неповторяемым в других небесных телах представляется нам *лик Земли* — ее изображение в Космосе, вырисовывающееся извне, со стороны, из дали бесконечных небесных пространств.

В лике Земли выявляется поверхность нашей планеты, ее *биосфера,* ее наружная область, отграничивающая ее от космической среды. Лик Земли становится видным благодаря проникающим в него световым излучениям небесных светил, главным образом Солнца. Он собирает всюду из небесных пространств бесконечное число различных излучений, из которых видные нам световые являются ничтожной частью.

Из невидимых излучений нам известны пока немногие. Мы едва начинаем осознавать их разнообразие, понимать отрывочность и неполноту наших представлений об окружающем и проникающем нас в биосфере мире излучений, об их основном, с трудом постижимом уму, привыкшему к иным картинам мироздания, значении в окружающих нас процессах.

Излучениями нематериальной среды охвачена не только биосфера, но все доступное, все мыслимое пространство. Кругом нас, в нас самих, всюду и везде, без перерыва, вечно сменяясь, совпадая и сталкиваясь, идут *излучения* разной длины волны — от волн, длина которых исчисляется десятимиллионными долями миллиметра, то длинных, измеряемых километрами.

Все пространство ими заполнено. Нам трудно, может быть и невозможно, образно представить себе эту среду, *космическую среду мира,* в которой мы живем и в которой — в одном и том же месте и в одно и то же время — мы различаем и измеряем по мере улучшения наших приемов исследования все новые и новые излучения.

Их вечная смена и непрерывное заполнение ими пространства резко отличают лишенную материи космическую среду от идеального пространства геометрии.

Это излучения разного рода. Они выявляют изменение среды и находящихся в ней материальных тел. Одни из них для нас вырисовываются в форме энергии — *передачи состояний.* Но наряду с ними в том же космическом пространстве, часто со скоростью того же порядка, идет иное *излучение* быстро переносящихся отдельных *мельчайших частиц,* наиболее изученными из которых, помимо материальных, являются электроны, атомы электричества, составные части элементов материи — атомов.

Это две стороны одного и того же явления, между ними есть переходы. Передача состояний есть проявление движения *совокупностей,* будут ли то кванты, электроны, магнетоны, заряды. Движение отдельных их элементов связано с совокупностями; сами они могут оставаться на месте.

Излучение частиц есть проявление переноса отдельных элементов совокупностей. Эти частицы, так же как и излучения, связанные с передачей состояний, могут проходить через строящие мир материальные тела. Они могут являться столь же резкими источниками изменения явлений, наблюдаемых в среде, в которую они попадают, как являются ими формы энергии.

2. Сейчас мы далеки от сколько-нибудь удовлетворительного их познания и можем в области геохимических явлений биосферы пока не принимать во внимание излучения частиц.

Но мы должны на каждом шагу считаться во всех наших построениях с теми излучениями передачи состояний, которые являются для нас формами энергии. В зависимости от формы излучений, в частности, например, от длины их волн, они будут нам проявляться как свет, теплота, электричество, будут различным образом менять материальную среду, нашу планету и тела, ее составляющие. Исходя из изучения длины волн, можно различить огромную область таких излучений. Она охватывает сейчас около сорока октав. Мы можем получить ясное представление об этом числе, вспомнив, что *одной* октавой является видимая часть солнечного спектра. Мы явно не дошли в этой форме до полного охвата мира, до познания всех октав. Все дальше и дальше расширяется область излучения с ходом научного творчества... Но в наши научные представления о Космосе, в наши обычные построения мира входят немногие даже из тех сорока октав, существование которых является несомненным.

Космические излучения, принимаемые нашей планетой, строящие, как увидим, ее биосферу, лежат только в пределах *четырех с половиной октав* из сорока нам известных. Нам кажется невероятным отсутствие остальных октав в мировом пространстве; мы считаем это отсутствие кажущимся, объясняем его их поглощением в материальной разреженной среде высоких слоев земной атмосферы.

Для наиболее известных космических излучений — лучей Солнца — известны одна октава световых лучей, три октавы тепловых и пол-октавы ультрафиолетовых. Представляется несомненным, что эта последняя является небольшим осколком, пропущенным стратосферой (§ 114).

3. Космические излучения вечно и непрерывно льют на лик Земли мощный поток сил, придающий совершенно особый, новый характер частям планеты, граничащим с космическим пространством.

Благодаря космическим излучениям биосфера получает во всем своем строении новые, необычные и неизвестные для земного вещества свойства, и отражающий ее в космической среде лик Земли выявляет в этой среде новую, измененную космическими силами картину земной поверхности.

Вещество биосферы благодаря им проникнуто энергией; оно *становится активным,* собирает и распределяет в биосфере полученную в форме излучений

энергию, превращает ее в конце концов в энергию в земной среде свободную, способную производить работу.

Образованная им земная поверхностная оболочка не может, таким образом, рассматриваться как область только вещества; это область энергии, источник изменения планеты внешними космическими силами.

Лик Земли ими меняется, ими в значительной степени лепится. Он не есть только отражение нашей планеты, проявление ее вещества и ее энергии — он одновременно является и созданием внешних сил Космоса.

Благодаря этому история биосферы резко отлична от истории других частей планеты, и ее значение в планетном механизме совершенно исключительное. Она в такой же, если не в большей степени есть создание Солнца, как и выявление процессов Земли. Древние интуиции великих религиозных созданий человечества о тварях Земли, в частности о людях как *детях Солнца,* гораздо ближе к истине, чем думают те, которые видят в тварях Земли только эфемерные создания слепых и случайных ! зменений земного вещества, земных сил.

Твари Земли являются созданием сложного космического процесса, необходимой и закономерной частью стройного космического механизма, в котором, как мы знаем, нет случайности.

4. К тому же самому выводу приводят нас резко меняющиеся за последние годы наши представления о *веществе,* из которого построена биосфера. Исходя из них, для нас является неизбежным видеть в веществе биосферы проявление космического механизма.

Это отнюдь не является следствием того, что часть вещества биосферы, может быть большая, неземного происхождения, попадает на нашу планету извне, из космических пространств. Ибо это приходящее извне вещество — космическая пыль и метеориты — неотличимо в своем внутреннем строении от земного. Многое нам еще непонятно и неясно в неожиданном характере его строения, нам сейчас открывающегося. Еще мы не достигли определенного и полного о нем представления; однако совершающиеся изменения наших представлений о нем так велики и настолько меняют все наше понимание геологических явлений, что на них необходимо остановиться прежде всего при первом нашем вступлении в эту область земных явлений.

Несомненно, одинаковость строения достигающего до нас космического вещества со строением вещества Земли не ограничивается биосферой — тонкой наружной пленкой планеты. Оно то же для всей земной коры, для оболочки литосферы мощностью 60-100 км, верхнею частью которой является неразрывно и постепенно с нею сливающаяся биосфера (§ 90).

Нельзя сомневаться, что и вещество более глубоких частей планеты того же характера, хотя химический состав его иной и хотя, по-видимому, оно всегда чуждо земной коре. Поэтому его можно оставить без внимания при изучении явлений, наблюдаемых в биосфере. Вещество земных областей, лежащих ниже земной коры, едва ли проникает в нее в сколько-нибудь значительных количествах в короткие периоды времени.

5. Долгое время не возбуждало никакого сомнения представление, что химический состав земной коры обусловливается чисто геологическими причинами и является результатом взаимодействия многочисленных разнообразных, мелких и крупных геологических явлений.

Объяснение ему искали в совокупности действия тех самых геологических явлений, которые мы наблюдаем и сейчас в окружающей нас среде: в химическом и в растворяющем действии вод, атмосферы, организмов, вулканических извержений и т.п. Земная кора, казалось, получила современный свой химический состав — качественный и количественный — в результате взаимодействия одних и тех же геологических процессов в течение всего геологического времени и неизменных за этот период свойств химических элементов.

Такое объяснение представляло многочисленные трудности, и наряду с ним существовали еще более сложные представления об изменении во времени геологических явлений, вызвавших этот химический состав. В связи с этим стали видеть в этом составе отражение древних периодов истории Земли, непохожих на современный; стали считать земную кору за измененную окалину некогда расплавленной массы нашей планеты, образовавшуюся на земной поверхности в полном согласии с законами распределения химических элементов таких застывающих при понижении температуры расплавленных масс. Для объяснения преобладания в ней определенных относительно легких элементов обращались к еще более древним периодам земной истории, предшествовавшим образованию земной коры, — к космическим периодам и считали, что в это время при образовании из туманности ее расплавленной массы ближе к центру скопились более тяжелые химические элементы.

Во всех этих представлениях состав земной коры связывался с геологическими явлениями. Элементы участвовали в них своими химическими свойствами, когда они могли давать химические соединения, своим атомным весом при высокой температуре, когда все соединения представлялись неустойчивыми.

6. Несомненно, что сейчас выясняются в химическом составе земной коры законности, которые в корне противоречат этим объяснениям.

И в то же время общая картина химического строения всех других небесных светил открывает перед нами такие их сложность, своеобразие и закономерность, которые раньше не могли даже подозреваться.

В составе нашей планеты, и земной коры в частности, открываются указания на явления, далеко выходящие за ее пределы. Мы не можем их понять, если не отойдем от области земных, даже планетных, явлений, не обратимся к строению всей космической материи, к ее атомам, к их изменению в космических процессах.

В этой области быстро накапливаются разнообразные указания, едва охваченные теоретической мыслью. Их значение только начинает сознаваться. Они не всегда могут быть ясно и определенно формулированы, и выводы из них обычно не делаются.

Огромное значение этих явлений не должно, однако, забываться. Эти новые факты должны теперь же учитываться в их неожиданных следствиях. Три об-

ласти явлений могут быть уже теперь отмечены: 1) особое положение элементов земной коры в периодической системе; 2) их сложность и 3) неравномерность их распространения.

Так, в массе земной коры резко преобладают химические элементы, отвечающие четным атомным числам (Оддо, 1914). Объяснить это явление геологическими причинами, известными нам, мы не можем.

К тому же немедленно выяснилось, что то же самое явление выражено еще более резко для единственных чуждых Земле космических тел, доступных непосредственному научному изучению, — для метеоритов (Гаркинс, 1917).

Область других фактов является, может быть, еще более непонятной. Попытки объяснить их геологическими причинами (Д.Томсон, 1921) противоречат известным в этой области явлениям. Нам непонятны *неизменная сложность* земных химических элементов, определенные постоянные соотношения между количеством *изотопов,* в них входящих. И здесь изучение изотопов в химических элементах метеоритов указало на тождественность смесей в этих явно различных по своей истории и положению в Космосе тел.

Явной стала и невозможность объяснить определенный состав земной коры — и нашей планеты — различным атомным весом элементов, в нее входящих. Не геологические, а какие-то другие причины должны объяснить различие состава земной коры и земного ядра; не может быть случайным выявляющееся сходство между составом метеоритов и составом более глубоких слоев нашей планеты. Причину преобладания относительно легких элементов, но в том числе и довольно тяжелого железа, в земной коре следует искать не в геологических или геохимических явлениях, не в земной только истории. Она лежит глубже — она связана с историей Космоса, может быть, со строением химических элементов.

Новое неожиданное подтверждение этого вывода получается сейчас в выясняющемся сходстве состава *наружных частей* Земли (т.е. земной коры), Солнца и звезд. Еще в 1914 г. Рассель указал на сходство состава земной коры с составом Солнца (т.е. наружных его слоев, которые мы изучаем). Еще резче эти соотношения выступают в новых работах над спектрами звезд. Так, работы Ц. Пайн (1925) дают следующий ход — в порядке убывания — распространенности химических элементов: Si-Na-Mg-Al-C-Ca-Fe (>1 % — первая декада); Zn-Ti-Mn-Cr-K (0,1-1 % — вторая декада). Здесь выявляется перед нами ясная аналогия с тем же порядком следования химических элементов земной коры: O-Si-Al-Fe-Ca-Na-K-Mg.

Эти работы — первые достижения в новой и большой области явлений. Несомненно, они еще требуют подтверждения и проверки, но мы не можем сейчас закрывать глаза и не считаться с тем, что первые полученные результаты резко подчеркивают сходство состава наружных оболочек небесных тел — Земли, Солнца, звезд.

Наружные части небесных светил связаны непосредственно с космической средой; они находятся путем излучений во взаимодействии друг с другом. Может быть, объяснение этого явления надо искать в обмене материей, который, по-видимому, происходит между этими телами и имеет место в Космосе.

Иную картину являют, по-видимому, более глубокие части тел мироздания. Метеориты и внутренние массы Земли резко отличны по составу от известных нам наружных оболочек.

7. Так резко меняется наше представление о составе нашей планеты, и в частности о составе земной коры и ее наружной оболочки — биосферы. Мы начинаем видеть в ней не единичное планетное или земное явление, а проявление строения атомов и их положения в Космосе, их изменения в космической истории.

Если даже мы не умеем объяснить эти явления, все же мы вышли на верный путь искания, пришли в новую, иную область явлений, чем та, с которой так долго пытались связать химию Земли. Мы знаем, где надо искать решение стоящей перед нами задачи и где искать его безнадежно. Наше понимание наблюдаемого изменяется коренным образом.

В верхней поверхностной пленке нашей планеты, в биосфере, мы должны искать отражение не только случайных единичных геологических явлений, но и проявления строения космоса, связанного со строением и историей химических атомов.

Биосфера не может быть понята в явлениях, на ней происходящих, если будет упущена эта ее резко выступающая связь со строением всего космического механизма. И эту связь мы можем установить в бесчисленных нам известных других фактах ее истории.

БИОСФЕРА КАК ОБЛАСТЬ ПРЕВРАЩЕНИЙ КОСМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

8. По существу, биосфера может быть рассматриваема как область земной коры, занятая трансформаторами, переводящими космические излучения в действенную Земную энергию — электрическую, химическую, механическую, тепловую и т.д.

Космические излучения, идущие от всех небесных тел, охватывают биосферу, Проникают всю ее и все в ней.

Мы улавливаем и сознаем только ничтожную часть этих излучений, и среди них мы изучали почти исключительно излучения Солнца.

Но мы знаем, что существуют и падают на биосферу волны иных путей, идущие от отдаленнейших частей Космоса. Так, звезды и туманности непрерывно шлют на нашу планету световые излучения.

Все говорит за то, что открытые В. Гессом в верхних слоях атмосферы проникающие излучения возникают вне границ нашей Солнечной системы. Их возникновение ищут в Млечном Пути, в туманностях, в звездах типа Мира Цети (Mira Ceti). Может быть, из Млечного Пути (В. Нернст) происходят загадочные проникающие радиации, столь яркие в высоких слоях нашей атмосферы.

Их учет и их понимание — дело будущего. Но, несомненно, не они, а лучи Солнца обусловливают главные черты механизма биосферы. Изучение отражения |а земных процессах солнечных излучений уже достаточно для получения первого, ю точ-

ного и глубокого *представления о биосфере как о земном и космическом Щеханизме.* Солнцем в корне переработан и изменен лик Земли, пронизана и охвачена биосфера. В значительной мере биосфера является проявлением его излучений; она составляет планетный механизм, превращающий их в новые разнообразные формы земной свободной энергии, которая в корне меняет историю и судьбу нашей планеты.

Для нас уже ясно огромное значение в биосфере коротких ультрафиолетовых волн солнечной радиации, длинных красных тепловых и промежуточных лучей видимого светового спектра. В строении биосферы мы уже сейчас можем выделить ее части, играющие роль трансформаторов для этих трех различных систем солнечных колебаний.

Медленно и с трудом выявляется нашему уму механизм превращения солнечной энергии в биосфере в земные силы. Мы привыкли видеть другие черты в отвечающих ему явлениях; он скрыт для нас в бесконечном разнообразии красок, форм, движений природы — мы сами составляем его часть нашей жизнью. Века и тысячелетия прошли, пока человеческая мысль могла отметить черты единого связного механизма в кажущейся хаотической картине природы.

9. Превращение трех систем солнечных излучений в земную энергию происходит отчасти в одних и тех же участках биосферы, но местами в ней выделяются области, в которых резко преобладают превращения одного какого-нибудь рода. Носители превращений всегда природные тела, и они резко различны для ультрафиолетовых, световых и тепловых солнечных волн.

Короткие *ультрафиолетовые излучения* в известной части своей целиком, в других — в значительной мере задерживаются в верхних разреженных частях газовой земной оболочки — в *стратосфере* и, может быть, в еще более высокой и более бедной атомами «свободной атмосфере».

Это «задерживание», «поглощение», связано с трансформацией лучевой энергии коротких волн. В этих областях под влиянием ультрафиолетовых излучений наблюдаются изменения электромагнитных полей, распадения молекул, разнообразные явления ионизации, новообразования газовых молекул новых химических соединений. Лучистая энергия частью превращается в разные формы электрических и магнитных проявлений, частью — в связанные с ней молекулярные, атомные и своеобразные химические процессы разреженных газообразных состояний вещества.

Нашему взору эти области и эти тела являются в форме северных сияний, зарниц, зодиакального света, свечения небесного свода, который становится заметным лишь в темные ночи, но все же составляет значительную часть освещения ночного неба, в форме светящихся облаков и других разнообразных отражений стратосферы и внешних пределов планеты в картине нашего земного мира. Нашим инструментам этот таинственный мир явлений раскрывается в электрических, магнитных, радиоактивных, химических, спектроскопических отражениях, в его непрерывном движении и в превышающем мысль разнообразии.

Эти явления не являются следствием изменения земной среды одними ультрафиолетовыми лучами Солнца. Мы должны считаться здесь со слож-

ным процессом. Здесь «задерживаются», т.е. превращаются в новые явления, уже земные, все формы лучистой энергии Солнца за пределами тех 4 1/2 ее октав, которые попадают в биосферу (§ 2). За эти пределы едва ли заходят и те мощные потоки частиц — электронов, которые непрерывно исходят из Солнца, или те материальные части — космическая пыль и газовые тела, столь же непрерывно захватываемые земным притяжением и несущие Земле новые источники энергии.

Мало-помалу входит в общее сознание значение этих явлений в истории нашей планеты. Так, несомненной стала связь их с другой формой превращения космической энергии, с областью живого вещества. Короткие световые волны — 180-200 mμ — разрушают все живые организмы, более длинные и более короткие волны им не вредят. Задерживая нацело короткие волны, стратосфера охраняет от них нижние слои земной поверхности — область жизни.

Чрезвычайно характерно, что главное поглощение этих лучей связано с озоном (озоновый экран — § 115), образование которого обусловлено существованием свободного кислорода — продукта жизни.

10. Если значение превращения ультрафиолетовых лучей только начинает сознаваться, роль *солнечной теплоты*, главным образом инфракрасных излучений, была понята давно. Она обращает на себя главное внимание при изучении влияния Солнца на геологические и даже геохимические процессы. Ясна и бесспорна роль лучистой солнечной теплоты и для существования жизни. Несомненно и превращение тепловой лучистой энергии Солнца в энергию механическую, молекулярную (испарение и т.п.), химическую.

Проявления таких превращений наблюдаются нами на каждом шагу и не требуют разъяснений; мы видим их в жизни организмов, в движении и деятельности ветров или морских течений, в морской волне и морском прибое, в разрушении скал и деятельности ледников, в движении и образовании рек и в колоссальной работе снежных и дождевых осадков...

Обычно менее сознается собирающая и распределяющая тепло роль жидких и газовых частей биосферы — переработка ею этим путем лучистой тепловой энергии Солнца. Атмосфера, океан, озера и реки, дождевые и снеговые осадки являются тем аппаратом, который производит эту работу. Мировой океан благодаря совершенно особым, исключительным среди всех соединений тепловым свойствам воды может быть связанным с характером ее молекул, является регулятором тепла, огромная роль которого на каждом шагу сказывается в бесчисленных явлениях погоды и климата и в связанных с ними процессах жизни и выветривания. Быстро нагреваясь вследствие своей большой теплоемкости, океан медленно отдает собранное тепло благодаря характеру своей теплопроводности. Он превращает поглощенную лучистую теплоту в молекулярную энергию при испарении, в химическую — через проникающее его живое вещество, в механическую — в своих морских течениях и прибое. Того же направления и, пожалуй, сравнимого масштаба термическая роль рек, осадков, воздушных масс и их нагреваний и охлаждений.

11. Ультрафиолетовые и инфракрасные лучи Солнца влияют на химические процессы биосферы только косвенным путем. Не они являются главным источником ее энергии. Химическая энергия биосферы в ее действенной форме выявляется из лучистой энергии Солнца совокупностью живых организмов Земли — *ее живым веществом.* Создавая фотосинтезом — солнечным лучом — бесконечное число новых в биосфере химических соединений — многие миллионы различных комбинаций атомов, оно непрерывно с уму непостижимой быстротой покрывает ее мощной толщей молекулярных систем, чрезвычайно легко дающих новые соединения, богатые свободной энергией в термодинамическом поле биосферы, в нем неустойчивые и неуклонно переходящие в новые формы устойчивого равновесия.

Эта форма трансформаторов является совершенно особым механизмом по сравнению с телами Земли, в которых идет превращение в новые формы энергии коротких и длинных волн солнечной радиации. Мы объясняем превращение ультрафиолетовых лучей их воздействием на материю, на ее независимым от них путем полученные атомные системы; превращения же тепловых излучений связываем с созданными помимо их непосредственного влияния молекулярными строениями. Но фотосинтез, ;как он наблюдается в биосфере, связан с особыми чрезвычайно сложными механизмами, *создаваемыми им самим* при условии одновременного проявления и превращения в окружающей среде ультрафиолетовых и инфракрасных радиаций Солнца.

Создаваемые этим путем механизмы превращения энергии — *живые организмы* — представляют совершенно особого рода образования, резко отличные от всех атомных, ионных или молекулярных систем, которые строят материю земной коры вне биосферы и часть вещества биосферы.

Живые организмы составлены из структур того же рода, правда более сложных, как и те, которые строят косную материю. Однако по производимым ими изменениям в химических процессах биосферы они не могут быть рассматриваемы как простые совокупности этих структур. Энергетический их характер, как он проявляется в их размножении, с геохимической точки зрения несравним с инертными структурами, строящими и косную и живую материю.

Механизм химического действия живого вещества нам неизвестен. По-видимому, однако, начинает выясняться, что с точки зрения энергетических явлений в живом веществе фотосинтез происходит не только в особой химической среде, но и в особом термодинамическом поле, отличном от термодинамического поля биосферы. После умирания организма соединения, устойчивые в термодинамическом поле живого вещества, попадая в термодинамическое поле биосферы, оказываются в нем неустойчивыми и являются в нем источником свободной энергии[1].

[1] Область явлений внутри организма (термодинамическое поле живого вещества) отличается с точки зрения термодинамической и химической от термодинамического поля биосферы

ЭМПИРИЧЕСКОЕ ОБОБЩЕНИЕ И ГИПОТЕЗА

12. По-видимому, такое понимание энергетических явлений жизни, поскольку оно выражается в геохимических процессах, правильно выражает наблюдаемые факты. Но утверждать это мы не можем, так как здесь мы встречаемся со своеобразным состоянием наших знаний в области биологических наук по сравнению с науками о косном веществе.

Мы уже видели, что и в последних оказалось необходимым оставить в стороне наши представления о биосфере и составе земной коры, в течение долгих поколений казавшиеся правильными, отбросить долго царившие объяснения чисто геологического характера (§ 6). То, что казалось логически и научно неизбежным, в конце концов оказалось иллюзией, и явление предстает нам в таких формах, которые никем не ожидались.

Положение в области изучения жизни еще более трудное, так как едва ли есть область естествознания, которая бы в самых основных своих понятиях была' так проникнута чуждыми по своему генезису науке философскими и религиозными построениями. В наших представлениях о живом организме на каждом шагу чрезвычайно сказываются философские и религиозные искания и достижения. В течение веков на все суждения, даже точных натуралистов, в этой области накладывались эти часто чуждые науке по своей сущности, но не менее драгоценные и глубокие охваты Космоса человеческим сознанием. И они привели к огромной трудности сохранить в этой области явлений одинаковый научный подход к их изучению.

13. Отражением таких философских и религиозных идей, а не выводом из научных фактов являются и оба господствующих представления о жизни — витали стическое и механистическое.

Оба оказывают в изучении явлений жизни тормозящее влияние, запутывают эмпирические обобщения.

Первые вносят в явления жизни такие объяснения, которые стоят вне того мира моделей, в форме которых мы представляем в научных обобщениях Космос. Вследствие такого характера этих представлений они в научной области лишены творческого значения, являются бесплодными. Не менее гибельны представления механистического характера, видящие в живых организмах одну игру физико-химических сил. Они ограничивают область научного искания и заранее предрешают его результат; вносят в научную область угадку, затемняют научное понимание. Конечно, если бы угадка была удачна, научная обработка быстро сгладила бы все шероховатости. Но угадка оказалась слишком тесно связанной с абстрактными философскими построениями, чуждыми научно изучаемой реальности, приводящими к чрезвычайно упрощенным представлениям о жизни, уничтожающим сознание сложности явлений. До сих пор — в течение столетий — эта угадка ни на шаг не подвинула понимание жизни.

Правильным является поэтому стремление, все более и более преобладающее в научных исканиях, оставить в стороне оба типа объяснений жизни, подходить к изучению ее явлений чисто эмпирически, считаться с невозможностью

дать ей «объяснение», т.е. дать ей место в нашем абстрактном космосе, научно построенном из моделей — гипотез.

Сейчас к явлениям жизни можно подходить с залогом успеха только эмпирически, не считаясь с гипотезами. Только такой подход откроет в них новые черты, которые или расширят область физико-химических сил, нам до сих пор научно известных, или введут новый принцип или аксиому в науку, новое недоказуемое и целиком невыводимое из известных аксиом и принципов понятие, наряду с теми, которые строят наш научный мир материи и энергии. Тогда окажется возможным, внеся гипотезы, связать эти явления с нашими построениями Космоса, подобно тому как открытие явлений радиоактивности связало с ним мир атомов.

14. Живой организм биосферы сейчас эмпирически должен изучаться как особое, целиком несводимое на известные физико-химические системы тело. Может ли он быть всецело на них сведен когда-нибудь, наука сейчас решить не может. Несомненно, это представляется возможным. Но в нашем эмпирическом изучении явлений природы мы не можем забывать и другой возможности, того, что сама эта задача, многими ставившаяся в науке, может оказаться столь же иллюзорной, какой оказалась проблема квадратуры круга. В области биологии мы не раз подходили к аналогичным сомнениям.

Еще более, чем в биологии, необходимо стоять на эмпирической почве — вне механистических и виталистических представлений — в науках геологических.

В одной из них, в геохимии, на каждом шагу приходится сталкиваться с явлениями жизни. Здесь организмы в виде своих совокупностей — живых веществ — являются одним из главных действующих факторов.

Живое вещество придает биосфере совершенно необычайный и для нас пока единственный в мироздании облик. Помимо нашей воли, мы не можем не различать в ней два типа вещества — *косное и живое,* влияющие друг на друга, но в некоторых основных чертах своей геологической истории разделенные непроходимой пропастью. Никогда не возникает никаких сомнений в принадлежности этих двух разных типов вещества биосферы к разным, необъединимым категориям явлений.

Их основное различие, в чем бы оно ни заключалось, есть не только эмпирический факт, но одно из важнейших эмпирических обобщений естествознания.

Значение этого обобщения и вообще значение эмпирических обобщений в науке часто упускаются из виду, и под влиянием рутины и философских построений эмпирические обобщения отождествляются с научными гипотезами.

Имея дело с явлениями жизни, особенно необходимо избегать такой укоренившейся вредной привычки.

15. Между эмпирическими обобщениями и научными гипотезами существуют огромные различия, и точность их выводов далеко не одинакова.

В обоих случаях — и при эмпирических обобщениях, и при гипотезах — мы пользуемся дедукцией для вывода следствий, проверяемых путем изучения реальных явлений. В такой науке исторического характера, какой является геология, эта проверка производится научным наблюдением.

Но различие заключается в том, что эмпирическое обобщение опирается на факты, индуктивным путем собранные, *не выходя за их пределы и не заботясь о согласии или несогласии полученного вывода с другими существующими представлениями о природе.* В этом отношении эмпирическое обобщение не отличается от научно установленного факта: их совпадение с нашими научными представлениями о природе нас не интересует, их противоречие с ними составляет *научное открытие.*

В эмпирическом обобщении, хотя и выдвигаются на первое место некоторые определенные признаки явления, в общем всегда сказывается влияние и всех других, принятых во внимание при установке научного факта, — всего явления целиком.

Эмпирическое обобщение может очень долго существовать, не поддаваясь никаким гипотетическим объяснениям, являться непонятным и все же оказывать огромное благотворное влияние на понимание явлений природы.

Но затем часто наступает момент, когда оно вдруг начинает освещаться новым светом, становится областью создания гипотез, начинает менять наши схемы мироздания и само меняться. Очень часто тогда оказывается, что в эмпирическом обобщении мы имели не то, что думали, или в действительности имели много больше, чем думали.

Типичным примером такой истории эмпирического обобщения может служить одно из величайших эмпирических обобщений — периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева, которая после открытия Д. Мозли (J. Moseley), сделанного в 1915 г., стала широким полем для научных гипотез.

16. Совершенно иначе строится гипотеза, или теоретическое построение. При гипотезе принимается во внимание какой-нибудь один или несколько важных признаков явления и на основании только их строится представление о явлении, без внимания к другим его сторонам. Научная гипотеза всегда выходит за пределы фактов, послуживших основой для ее построения, и потому — для необходимой прочности — она неизбежно должна связываться по возможности со всеми господствующими теоретическими построениями о природе, им не противоречить.

17. Таким образом, эмпирическое обобщение, раз оно точно выведено из фактов, не требует проверки.

Только такие эмпирические обобщения, основанные на всей совокупности известных фактов, а не гипотезы и теории положены мною в основу дальнейшего изложения. Это следующие положения:

1) в течение всех геологических периодов не было и нет никаких следов абиогенеза (т.е. непосредственного создания живого организма из мертвой, косной материи);

2) никогда в течение всего геологического времени не наблюдались азойные (т.е. лишенные жизни) геологические эпохи;

3) отсюда следует, что, во-первых, современное живое вещество генетически связано с живым веществом всех прошлых геологических эпох и что, во-вторых,

в течение всего этого времени условия земной среды были доступны для его существования, т.е. непрерывно были близки к современным;

4) в течение всего этого геологического времени не было резкого изменения в какую-нибудь сторону в химическом влиянии живого вещества на окружающую его среду; все время на земной поверхности шли те же процессы выветривания, т.е. в общем наблюдался тот же средний химический состав живого вещества и земной коры, какой мы и ныне наблюдаем;

5) из неизменности процессов выветривания вытекает и неизменность количества атомов, захваченных жизнью, т.е. не было больших изменений в количестве живого вещества[1];

6) в чем бы явления жизни ни состояли, энергия, выделяемая организмами, есть в главной своей части, а может быть и целиком, лучистая энергия Солнца. Через посредство организмов она регулирует химические проявления земной коры.

18. Из принятия в основу наших суждений этих эмпирических обобщений неизбежно вытекает положение, что ряд проблем, которые ставятся в науке, главным образом в философских ее обработках, исчезают из круга нашего рассмотрения, так как они не вытекают из эмпирических обобщений и не могут быть построены без гипотетических предположений. Так, должны оставаться без рассмотрения вопросы о начале жизни на Земле, если оно было, все космогонические представления о прошлом безжизненном состоянии Земли, о существовании абиогенеза в гипотетические космические периоды земной истории.

Эти вопросы — начало жизни, абиогенез, существование в истории земной коры безжизненных периодов — так тесно связаны с господствующими научно-философскими построениями, глубоко проникнутыми космогоническими гипотезами, что кажутся многим логически неизбежными.

Однако изучение истории науки показывает, что эти вопросы вошли в науку извне, зародились вне ее — в религиозных или философских исканиях человечества. И это ясно может быть установлено при сравнении их с эмпирической, строящей науку областью точно установленных научных фактов.

Все нам известные точно установленные факты ни в чем не изменятся, если даже все эти проблемы получат отрицательное решение, т.е. если бы мы признали, что жизнь всегда была и не имела начала, что живое — живой организм никогда и нище не происходил из косной материи и что в истории Земли не было вообще геологических эпох, лишенных жизни.

Придется только вместо господствующих космогонических гипотез построить новые, применить к некоторым из оставленных научной мыслью в стороне философских или религиозных построений иную, чем теперь, математическую или научную обработку, как это и было сделано для других философских и религиозных созданий при выработке современных научных космогоний.

---

1 Есть только признаки небольших колебаний около некоторого среднего.

ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО В БИОСФЕРЕ

19. Биосфера — единственная область земной коры, занятая жизнью. Только в ней, в тонком наружном слое нашей планеты, сосредоточена жизнь; в ней находятся все организмы, всегда резкой, непроходимой гранью отделенные от окружающей их косной материи.

Никогда живой организм в ней не зарождается. Он, умирая, живя и разрушаясь, отдает ей свои атомы и непрерывно берет их из нее, но, охваченное жизнью, живое вещество всегда имеет свое начало в живом же.

Жизнь захватывает значительную часть атомов, составляющих материю земной поверхности. Под ее влиянием эти атомы находятся в непрерывном интенсивном движении. Из них все время создаются миллионы разнообразнейших соединений. И этот процесс длится без перерыва десятки миллионов лет, от древнейших археозойских эр до нашего времени, в основных чертах оставаясь неизменным.

На земной поверхности нет химической силы, более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом. И чем более мы изучаем химические явления биосферы, тем более мы убеждаемся, что на ней нет случаев, где бы они были независимы от жизни. И так длилось в течение всей геологической истории. Древнейшие архейские слои дают косвенные признаки существования жизни; древние альгонкские породы, может быть также и археозойские (И. Помпекки, 1927), сохранили прямые отпечатки и явные следы организмов. Правы ученые (Шухерт, 1924), выделяющие наряду с богатыми жизнью палеозоем, мезозоем, кайнозоем еще и археозой. К нему принадлежат самые древние, нам доступные и нам известные, части земной коры. Эти слои оказываются свидетелями древнейшей жизни, которая, несомненно, длится не менее 2.10^9 лет. За это время энергия Солнца не могла заметно меняться, и это вполне совпадает с астрономическими возможностями (Шаплей, 1925).

20. И даже больше — становится ясным, что прекращение жизни было бы неизбежно связано с прекращением химических изменений если не всей земной коры, то, во всяком случае, ее поверхности — лика Земли, биосферы. Все минералы верхних частей земной коры — свободные алюмокремневые кислоты (глины), карбонаты (известняки и доломиты), гидраты окиси железа и алюминия (бурые железняки и бокситы) и многие сотни других — непрерывно создаются в ней только под влиянием жизни. Если бы жизнь прекратилась, их элементы быстро приняли бы новые химические группировки, отвечающие новым условиям, старые нам известные тела безвозвратно исчезли бы. С исчезновением жизни не оказалось бы на земной поверхности силы, которая могла бы давать непрерывно начало новым химическим соединениям.

На ней неизбежно установилось бы химическое равновесие, химическое спокойствие, которое временами и местами нарушалось бы привносом веществ из земных глубин: газовыми струями, термами или вулканическими извержениями. Но вновь вносимые этим путем вещества более или менее быстро приняли бы

устойчивые формы молекулярных систем, свойственные условиям безжизненной земной коры, и дальше не изменялись бы.

Хотя число точек, откуда проникает вещество глубоких частей земной коры, исчисляется тысячами, рассеянные по всей поверхности планеты, они теряются в ее огромности; повторяясь временами, как, например, вулканические извержения, они незаметны в безмерности земного времени.

С исчезновением жизни на земной поверхности шли бы лишь медленные, от нас скрытые изменения, связанные с земной тектоникой. Они проявлялись бы не в наши годы и столетия, а в годы и столетия геологического времени. Только тогда в космическом цикле они стали бы заметны, подобно тому как только в нем выступают радиоактивные изменения атомных систем.

Постоянно действующие силы биосферы — нагревание Солнца и химическая деятельность воды — мало изменили бы картину явления, ибо с прекращением жизни скоро исчез бы свободный кислород и уменьшилось бы до чрезвычайности количество углекислоты, исчезли бы главные деятели процессов выветривания, постоянно захватываемые косной материей и постоянно восстанавливаемые в том же неизменном количестве процессами жизни. Вода в термодинамических условиях биосферы является могучим химическим деятелем, но эта вода *«природная»,* так называемая *вадозная* (§ 89), богатая химически активными центрами жизни — организмами, главным образом невидимыми глазу, измененная растворенными в ней кислородом и углекислотой. Вода, лишенная жизни, кислорода, углекислоты, при температуре и давлении земной поверхности в инертной газовой среде явится телом химически мало деятельным, безразличным.

Лик Земли стал бы так же неизменен и химически инертен, как является неподвижным лик Луны, как инертны осколки небесных светил, захватываемые притяжением Земли, богатые металлами метеориты и проникающая небесные пространства космическая пыль.

21. Так, жизнь является великим, постоянным и непрерывным нарушителем химической косности поверхности нашей планеты. Ею в действительности определяется не только картина окружающей нас природы, создаваемая красками, формами, сообществами растительных и животных организмов, трудом и творчеством культурного человечества, но ее влияние идет глубже, проникает более грандиозные химические процессы земной коры.

Нет ни одного крупного химического равновесия в *земной коре,* в котором не проявилось бы основным образом влияние жизни, накладывающей неизгладимую печать на всю химию земной коры.

Жизнь не является, таким образом, внешним случайным явлением на земной поверхности. Она теснейшим образом связана со строением земной коры, входит в ее механизм и в этом механизме исполняет величайшей важности функции, без которых он не мог бы существовать.

22. Можно говорить о всей жизни, о всем живом веществе как о едином целом в механизме биосферы, хотя только часть его — зеленая, содержащая хлорофилл растительность — непосредственно использует световой солнечный луч,

создает через него фотосинтезом химические соединения, неустойчивые в термодинамическом поле биосферы при умирании организма или при выходе из него.

С этой зеленой частью непосредственно и неразрывно связан весь остальной живой мир. Дальнейшую переработку созданных ею химических соединений представляет все вещество животных и бесхлорофилльных растений. Может быть, только автотрофные бактерии не являются придатком зеленой растительности, но и они генетически так или иначе с ней в своем прошлом связаны (§ 100).

Можно рассматривать всю эту часть живой природы как дальнейшее развитие одного и того же процесса превращения солнечной световой энергии в действенную энергию Земли. Животные и грибы скопляют такие формы богатых азотом тел, которые являются еще более могучими агентами изменения, центрами свободной химической энергии, когда они — при смерти и разрушении организмов или при выходе из них — выходят из термодинамического поля, где они устойчивы, и попадают в биосферу, в иное термодинамическое поле, где распадаются с выделением энергии.

Можно, следовательно, брать *все живое вещество* в целом, т.е. совокупность всех живых организмов без исключения (§ 160), как единую особую область накопления свободной химической энергии в биосфере, превращения в нее световых излучений Солнца.

23. Изучение морфологии и экологии зеленых организмов давно показало, что весь зеленый организм и в своих сообществах, и в своем движении приспособлен прежде всего к исполнению своей космической функции — улавливанию и превращению солнечного луча. Как давно заметил один из крупных натуралистов, глубоко вдумавшийся в эти явления австрийский ботаник И. Визнер, свет влияет на форму зеленых растений много больше, чем теплота: он «как будто лепит их формы, как из пластического материала».

Одно и то же огромной важности эмпирическое обобщение изложено здесь с разных, противоположных точек зрения, сделать выбор между которыми мы сейчас не в состоянии. С одной стороны, ищут причину явления внутри, в автономном живом организме, который *приспособляется* к тому, чтобы улавливать всю световую энергию солнечного луча, с другой стороны, ищут причину вне организма, в солнечном луче, обрабатывающем, как инертную массу, зеленый организм, который он освещает.

Очень возможно, что правильнее искать причину явления в обоих объектах, но это дело будущего. Сейчас мы должны считаться с самим эмпирическим наблюдением, которое дает, мне кажется, много более, чем это выражено в приведенных представлениях.

Эмпирическое наблюдение указывает нам, что в биосфере видна *неразрывная связь* между освещающим ее световым солнечным излучением и находящимся в ней зеленым живым миром организованных существ.

Всегда существуют в биосфере такие условия, которые обеспечивают световому лучу на его пути встречу с зеленым растением — этим трансформатором носимой им энергии.

Можно утверждать, что такое превращение энергии *нормально* будет происходить с каждым солнечным лучом, и можно рассматривать это превращение энергии как *свойство* живого вещества, как *его функцию* в биосфере.

В тех случаях, когда такой трансформации не происходит и зеленое растение не может исполнять присущую ему в механизме земной коры функцию, надо искать объяснения *ненормальности* явления.

Основным выводом *наблюдения* является чрезвычайная автоматичность процесса: нарушение его восстанавливается без всякого участия других объектов, кроме светового солнечного луча и определенным образом построенного и определенным образом живущего зеленого растения. Это восстановление равновесия не произойдет только в том случае, если силы, этому препятствующие, достаточно велики. Восстановление равновесия связано с временем.

24. Наблюдение окружающей природы на каждом шагу дает нам указания на существование в биосфере этого механизма. Размышление легко приводит к сознанию его величия и значения.

В общем вся суша покрыта зеленой растительностью. Обнаженные от зеленой жизни места составляют исключения и теряются в общей картине. В лике Земли, при взгляде из космических пространств, суша должна представляться *зеленой.*

Так же как непрерывно падает на лик Земли ток солнечного света, так же непрерывно растекается по всей поверхности Земли — суши и моря — зеленый аппарат его улавливания и превращения.

Живое вещество — совокупность организмов — подобно массе газа растекается по земной поверхности и оказывает определенное давление в окружающей среде, обходит препятствия, мешающие его передвижению, или ими овладевает, их покрывает. С течением времени оно неизбежно покрывает весь земной шар своим покровом и только временно может отсутствовать на нем, когда его движение, его охват разрешены и сдерживаются внешнею силою. Эта неизбежность его всюдности связана с непрерывным освещением лика Земли солнечным излучением, созданием которого является зеленый окружающий нас живой мир.

Это движение достигается путем *размножения организмов,* т.е. автоматического увеличения количества их неделимых. Оно, в общем никогда не прерываясь, идет с определенным темпом во времени, как с определенным темпом падает на лик Земли солнечный луч.

Несмотря на чрезвычайную изменчивость жизни, несомненно, что в комплексах организмов — в живом веществе, да и в отдельных организмах, размножение, рост, т.е. работа превращения ими энергии солнечной в земную, химическую, — все подчиняется неизменным математическим законностям. Все учитывается и все приспособляется с той же точностью, с той же механичностью и с тем же подчинением мере и гармонии, какие мы видим в стройных движениях небесных светил и начинаем видеть в системах атомов вещества и атомов энергии.

РАЗМНОЖЕНИЕ ОРГАНИЗМОВ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА

25. Растекание *размножением* в биосфере зеленого живого вещества является одним из характернейших и важнейших проявлений механизма земной коры. Оно обще всем живым веществам, лишенным хлорофилла или им обладающим, оно — характернейшее и важнейшее выявление в биосфере всей жизни, коренное отличие живого от мертвого, форма охвата энергией жизни всего пространства биосферы. Оно выражается нам в окружающей природе во *всюдности* жизни, в захвате ею, если этому не препятствуют непреодолимые препятствия, всякого свободного пространства биосферы. Область жизни — вся поверхность планеты. Если какая-нибудь часть ее оказалась безжизненной, в короткий или медленный срок она неизбежно будет захвачена живыми организмами. Мера геологического времени в истории планеты — небольшой промежуток, и мы видим, как в это время вырабатываются организмы, приспособленные к жизни в условиях, которые раньше делали ее невозможной. Область жизни, по-видимому, расширяется в геологическом времени (§ 119, 122), и, во всяком случае, несомненно, что она всегда охватывает или стремится охватить до конца все доступное ей пространство — на протяжении, вероятно, всей геологической истории. Ясно, что это стремление является отличительной чертой живого вещества, а не проявлением чуждой ему силы, как, например, при растекании песчаной кучи или ледника под влиянием силы тяготения.

Растекание жизни — движение, выражающееся во всюдности жизни, — есть проявление ее внутренней *энергии,* производимой ею химической работы. Оно подобно растеканию газа, которое не есть следствие тяготения, но есть проявление отдельных движений частиц, совокупность которых представляет газ. Так и растекание по поверхности планеты живого вещества есть проявление его энергии, неизбежного движения, занятия нового места в биосфере новыми, созданными размножением организмами. Оно есть проявление прежде всего автономной энергии жизни в биосфере. Эта энергия проявляется в работе, производимой жизнью, в переносе химических элементов и в создании из-них новых тел. Я буду называть *ее геохимической энергией жизни* в биосфере.

26. Это движение живых организмов путем размножения, совершающееся с удивительной и неизменной математической правильностью, идет в биосфере непрерывно и является характернейшей и важнейшей по своим эффектам чертой ее механизма. Оно идет на земной поверхности — на суше, оно проникает все водоемы, в том числе гидросферу, оно видно на каждом шагу в тропосфере; в форме паразитов оно охватывает все другие живые существа, имеет место внутри самих живых веществ.

Неуклонно и неизменно оно длится без перерыва и без замедления мириады лет, ;все время совершая огромную геохимическую работу, являясь формой проникновения энергии солнечного луча в нашу планету и ее распределения по земной поверхности. Мы должны видеть в нем не только перенос материальных тел,

но и передачу энергии. В связи с этим и перенос материальных тел размножением есть процесс особенный.

Это не есть простое механическое передвижение тел по земной поверхности, Независимых, не связанных с той средой, в которой они двигаются. Среда, в которой они движутся, не только обусловливает своим сопротивлением трение, как это имеет место **в** движении тел под влиянием тяготения. В этом движении связь со средой глубже — оно может идти только под влиянием газового обмена движущихся тел и среды, **в** которой происходит движение. Оно тем быстрее, чем газовый обмен сильнее, оно замирает, когда газовый обмен не может иметь места. Газовый обмен —*дыхание* организмов; оно, как мы увидим, глубоко меняет, направляет размножение. В движении размножения мы видим проявление его геохимического значения, выражение его как части механизма биосферы, подобно тому как само это движение является отражением солнечного луча. Проявлением энергии того же луча является и само дыхание — газовый обмен жизни с окружающей средой.

27. Хотя это движение идет кругом нас непрерывно, мы его не замечаем, так как нашим взором охватываем только общий его результат — ту красоту, разнообразие форм и красок, движений и соотношений, которые нам дает живая природа. Мы видим лишь поля и леса с их растительной и животной жизнью, полные жизни водоемы и моря, пронизанную ею только кажущуюся мертвой почву. Мы видим статический результат, динамическое равновесие этих движений; редко когда можем наблюдать их как таковые.

Остановимся на нескольких примерах, в которых вскроется это созидающее живую природу нам не видное, но для живой природы основное своеобразное движение.

Временами на небольших относительно пространствах мы видим прекращение жизни высшей растительности. Лесной пожар, степные палы, взрыхленные, распаханные, запущенные поля, вновь образовавшиеся острова, застывшие потоки лавы, покрытые вулканическим пеплом пространства суши, освободившиеся от ледников и водных бассейнов ее пространства, новые почвы, образованные на безжизненных скалах лишайниками и мхами, — эти и другие формы бесконечных проявлений жизни на нашей планете на некоторое время образуют лишенные трав и деревьев пятна на зеленом покрове суши. Они образуют их на короткое время. Жизнь быстро входит в свои права. И зеленые травы, а затем и древесная растительность занимают утерянные или новые места. Отчасти они занимают их проникновением извне, приносом семян подвижными организмами или еще больше ветром, отчасти возникают от всюду в почве находящихся их запасов, лежащих в ней в латентном состоянии и сохраняющихся в этой форме иногда, по крайней мере, столетия.

Но это проникновение семян извне есть необходимое *условие* заселения, но не оно его производит. Заселение осуществляется благодаря размножению организмов, зависит от специфичной для их размножения геохимической энергии; оно идет годами, пока не будет восстановлено нарушенное равновесие. Как мы

увидим, это находится в полном соответствии со скоростью передачи в биосфере жизни, передачи геохимической энергии этих живых веществ — высших зеленых растений. В этом случае, следя внимательно за заселением пустых пространств, человек может видеть движение растекания жизни, о котором я говорю, реально ощущать ее давление; вдумываясь в него, он может созерцать движение на нашей планете солнечной энергии, превращенной в земную — химическую.

Он его ощущает и в тех случаях, когда ему приходится защищать от чуждого заселения нужные ему поля или пустые пространства, тратить на преодоление давления жизни свою энергию.

Он видит его и тогда, когда всматривается в окружающую его природу, в глухую, молчаливую, беспощадную борьбу за существование, которую ведут кругом него зеленые растения. Он видит и ощущает действительно, как надвигается лес на степь или как лишайниковая тундра в своем *движении* его глушит.

28. Членистоногие насекомые, клещи, пауки составляют главную массу живого животного вещества суши. В тропических и подтропических странах среди них преобладающую роль играют Orthoptera, муравьи, термиты. Размножение их идет своеобразным путем. Хотя геохимическая энергия, ему отвечающая (§ 27), того же порядка, как для высших зеленых растений, она все же несколько меньше.

В государствах термитов дает потомство, производит непосредственно размножение один организм из десятков тысяч, иногда сотен тысяч бесполых неделимых. Это царица-мать. Она кладет яички непрерывно весь свой век — иногда десять и больше лет. Количество яичек, новых особей, которое она может дать, исчисляется биллионами. В год она дает сотни тысяч. Указываются случаи, когда она дает 60 яичек в минуту, т.е. 86400 штук в сутки, так же правильно, как в часовых механизмах отбиваются секунды, суточное количество которых равно тем же 86400.

Размножение идет *роями.* Часть потомства с новой царицей-маткой улетает и захватывает новое пространство вне ареала, необходимого для жизни первого, исходного государства. Всюду действует с математической точностью инстинкт: и в сохранении яичек, немедленно уносимых термитами-рабочими, и в отлете роев, и в замене — в случае неожиданных случайностей — старой матки новой. Всюду действует с той же точностью и число. Все подвержено мере, числовой закономерности: число яичек, число годовых роев, в них неделимых, число населения государств, размеры и вес организмов, темп размножения и вызванного им переноса геохимической энергии термитов по земной поверхности.

Мы может точно выразить числом напряжение движения термитов по земной поверхности благодаря их размножению, зная годовое количество роев, число в них особей, их размеры, количество яичек, отлагаемых в год царицей; мы можем обнять числом отвечающее этому движению его отражение в окружающей среде, его давление.

Давление это очень велико. Человек, живущий в области их обитания, знает это по той работе, которую он должен производить, чтобы защищать от них продукты своего существования, своего питания.

Если бы не было препятствий во внешней среде, главным образом в окружающей термитов жизни, в немногие годы они могли бы захватить и покрыть своими государствами всю поверхность биосферы — $5{,}10065\times10^{8}$ км^2.

29. Среди организмов *бактерии* занимают особое место. Это организованные тела мельчайших известных размеров: линейные размеры их измеряются 10^{-4} см и даже 10^{-5} см. В то же самое время это организмы с наибольшей силой размножения. Они размножаются дроблением. Каждая клетка многократно удваивается в сутки. Наиболее быстро размножающаяся бактерия производит эту работу 63-64 раза в сутки, в среднем каждые 22-23 минуты, с такой же правильностью, как откладывает яички самка термитов или обращается около Солнца планета, на которой эта бактерия живет.

Бактерии живут в жидкой или полужидкой среде. Главные их массы наблюдаются в гидросфере; значительные количества сосредоточены в почве, проникают в другие организмы.

Если бы не было препятствий во внешней среде, они могли бы создать с непостижимой для нас быстротой невероятные количества сложнейших химических соединений, являющихся вместилищем огромной химической энергии.

Этой огромной энергии отвечает огромная быстрота их размножения. Таким путем в течение полутора и менее суток бактерии могли бы покрыть тонким однослойным покровом поверхность земного шара, которую в результате размножения зеленые травы или насекомые могли бы преодолеть в течение ряда лет, в отдельных случаях сотен дней.

В морской среде находятся бактерии почти шаровой формы, объем которых, по М. Фишеру, достигает 1 μ^3, т.е. 10^{-12}см^3. В 1 см^3 может заключаться 10^{12} неделимых, и при быстроте их размножения - в сутки около 63 делений каждой клетки — кубический сантиметр может быть ими заполнен в течение нескольких — 11-13 часов, если в него попадет одна такая бактерия. В действительности бактерии живут не изолированно, а образуют колонии, и при благоприятных условиях они заполняют 1 см^3 еще быстрее.

Процесс деления неизбежно происходит таким темпом, если бактерия живет в условиях жизни, этому благоприятных, прежде всего, если температура среды это дозволяет. Если температура падает, быстрота чередования поколений уменьшается, и это изменение может быть выражено в точной числовой формуле. Все время бактерия дышит, т.е. находится в тесной связи с растворенными в воде газами. Ясно, что количество бактерий путем размножения никогда не может достигнуть в 1 см^3 той величины, которая определяет в нем количество газовых молекул, т.е. $2{,}706\times10^{19}$ (число Лошмидта). Газовых молекул в 1 см^3, заполненном водой, будет во много раз меньше. Мы видим здесь предел размножению, ставящийся явлениями дыхания, свойствами газообразного состояния материи.

30. Пример бактерий позволяет выразить движение, наблюдаемое в биосфере благодаря размножению, в другой форме, чем мы это делали до сих пор.

Представим себе период в истории Земли, который гипотетически неправильно, как увидим, допускают геологи, время, когда океан покрывал не три четверти земной поверхности, а всю планету. Э. Зюсс относил это «вселенское море»

(по-гречески «Панталасса») в археозойскую эру. Бактерии в это время, несомненно, его населяли. Их следы известны в слоях древнейшего палеозоя. Характер минералов археозойских слоев и особенно характер их ассоциаций с не меньшей несомненностью доказывают нахождение бактерий во всем археозое — в самых древнейших доступных геологическому изучению пластах нашей планеты. Если бы в этом «вселенском море» температура была благоприятна Для их жизни и если бы в нем не было препятствий их размножению, шаровая бактерия, в 10^{-12} $см^3$ объемом, в 1,47 суток — меньше чем в полутора суток — образовала бы в этом море сплошную пленку в $5{,}10065 \times 10^8$ $км^2$.

Пленки бактерий, образующиеся благодаря их размножению, занимают хотя и меньшие, но все же весьма значительные площади в биосфере.

В 90-х годах прошлого столетия проф. М.А. Егунов указывал на существование тонкой пленки серных бактерий на всей площади Черного моря. Эта пленка равнялась бы в таком случае поверхности Черного моря, т.е. 411 540 $км^2$, и лежала бы на границе кислородной поверхности, т.е. на глубине 200 м. Однако исследования проф. Б.Л. Исаченко, участника экспедиции Н.М. Книповича (1926), не подтверждают этих данных. Это же явление в менее грандиозных размерах, но отчетливо выражено в динамических равновесиях живых организмов, например, на границе между пресной и соленой водой в Мертвом озере Кильдинских островов, которое на всей своей поверхности всегда покрыто сплошной пленкой пурпурных бактерий (К. Дерюгин, 1926).

Другие микроскопические, но все же более крупные организмы постоянно дают примеры подобных явлений. От времени до времени пленка, образованная этими организмами океанического планктона, покрывает пространство в тысячи квадратных километров. Подобные пленки образуются довольно быстро.

Во всех этих случаях можно изобразить геохимическую энергию этих процессов таким же образом, а именно в виде *передвижения* этой энергии на земной поверхности, причем скорость растения пропорциональна скорости размножения вида, в нашем случае бактерии Фишера.

При своем максимальном развитии, когда данный вид заселит всю земную поверхность ($5{,}10065 \times 10^8$ $км^2$), эта энергия за определенное время, разное для каждого вида, пройдет также максимальное расстояние, равное земному экватору, т.е. 40 075 721 м.

Бактерия Фишера, размером в 10^{-12} $см^3$, при образовании пленки во «вселенском море» Э. Зюсса развила бы энергию, скорость продвижения которой по земному диаметру была бы равна около 33 100 см/с.

Это явление может быть выражено в иной форме. Скорость v, равная 33 100 см/с, может быть рассматриваема как скорость передачи жизни, геохимической энергии, вокруг земного шара; она равна средней скорости вращения вокруг него бактерии путем размножения. В 1,47 суток бактерия размножением обтекает земной шар, совершает вокруг него в «вселенском море» полный оборот...

Скорость передачи жизни, по наибольшему расстоянию, ей доступному, величина *v*, будет той характерной для каждого однородного живого вещества

постоянной, которой мы будем пользоваться для выражения геохимической энергии жизни.

31. В основе этой величины, всегда отличной для всякого вида или расы, сказываются, с одной стороны, характер механизма размножения, а с другой стороны, те пределы возможному размножению, которые кладутся размерами и свойствами планеты.

Скорость передачи жизни не есть выражение свойств автономных организмов или их совокупностей — живых веществ; она выражает их размножение в соответствии с биосферой как планетное явление. В ее выражение неизбежно входят элементы планеты — величины ее поверхности и ее экватора. Мы имеем здесь аналогию с некоторыми другими свойствами организма, например с его *весом.* Вес организма на Земле и того же организма на другой планете будет иной, хотя организм может при этом не измениться. Точно так же и скорость передачи его жизни, например, на Земле или Юпитере, площадь и экватор которого иные, чем Земли, будет иная, хотя бы сам организм оставался при этом неизменным.

Этот специфически земной характер скорости передачи жизни вызывается тем *ограничением,* которое свойства и характер Земли как планеты, биосферы как космического явления вносят в проявление заложенного в организмах как в автономных созданиях механизма размножения.

32. Область явлений размножения мало обращала на себя внимание биологов. Но в ней — отчасти незаметно для самих натуралистов — установилось несколько эмпирических обобщений, которые отчасти кажутся нам сами по себе понятными, так мы с ними свыклись.

Среди этих обобщений необходимо отметить следующие.

1) Размножение всех организмов выражается геометрическими прогрессиями. *Можно выразить это в единообразной формуле*

$$2^{n\Delta} = N_n,$$

где n — число дней с начала размножения; Δ — показатель прогрессии, который для одноклеточных организмов, размножающихся делением, соответствует числу поколений в сутки; N_n — число неделимых, существующих благодаря размножению через n дней.

Характерным для каждого живого вещества является Δ.

В этой формуле никаких пределов, никаких ограничений ни для n, ни для Δ, ни для N не заключается.

Процесс мыслится бесконечным, как бесконечной является прогрессия.

2) Эта бесконечность возможности проявления размножения организма сказывается в *подчинении* этого проявления в биосфере, *т.е. растекания живого вещества, правилу инерции.* Может считаться эмпирически установленным, что процесс размножения задерживается в своем проявлении только внешними силами; он замирает при низкой температуре, прекращается или ослабляется при недостатке пищи или дыхания, при отсутствии места для обитания вновь создаваемых организмов. Уже в 1858 г. Ч. Дарвин и А. Уоллес высказали эту мысль в

форме, которая была давно ясна натуралистам, вдумывавшимся в эти явления, например К. Линнею, Ж. Бюффону, А. Гумбольдту, К. Эренбергу, К.М. Бэру: если не будет внешних препятствий, всякий организм в разное, определенное для него время может размножением покрыть весь земной шар, произвести по объему потомство, равное массе океана или земной коры.

3) Темп размножения, сказывающийся в таком эффекте, отличен для каждого организма и находится в тесной зависимости от размеров организма. *Мелкие организмы,* т.е. организмы в то же время и более легкие, *размножаются гораздо быстрее, чем большие организмы,* т.е. организмы в то же время большего веса.

33. В этих трех эмпирических положениях явления размножения организмов выражены вне времени и пространства или, вернее, в геометрических и механических бесформенных однородных времени и пространстве.

В действительности жизнь в той форме, в какой мы ее изучаем, есть чисто земное — планетное явление, неотделимое от биосферы, созданное и приспособившееся к ее условиям.

Перенесенная в отвлеченное время и отвлеченное пространство математики, жизнь является фикцией, созданием нашего разума, отличным от реального явления.

Если мы хотим иметь точные, научные представления, в наши положения о ее свойствах мы должны внести поправки в отвлеченные понятия времени и пространства; эти поправки могут в корне, как мы видим в данном случае, изменить наши выводы, в которых свойства земных времени и пространства не были предусмотрены.

34. На Земле организмы живут в *ограниченном пространстве,* одинаковом по размерам для всех них. Они живут в пространстве определенного строения в газообразной или проникнутой газами жидкой среде. И хотя время нам представляется безграничным, но время какого-нибудь процесса в ограниченном пространстве, каким является размножение организмов, не может являться безграничным. Оно тоже будет иметь предел, различный для каждого организма в зависимости от характера его процесса размножения.

Неизбежным следствием этого положения является ограничение всех величин, определяющих явления размножения организмов в биосфере. Должны существовать наибольшие числа неделимых, которые могут дать разные живые вещества. Эти числа —N_{max} — должны быть конечны и характерны для каждого вида и расы. Скорости передачи жизни должны заключаться в точных и определенных пределах, которые не могут быть никогда превзойдены. Наконец, величины Δ геометрических прогрессий размножения тоже имеют определенные пределы.

Эти пределы устанавливаются двумя проявлениями планеты: 1) ее размерами и 2) физическим заполнением пространства, в котором течет жизнь, жидкостями и газами, — прежде всего свойствами газов и характером газового обмена.

35. Остановимся на ограничении, вносимом размерами планеты. Влияние этих размеров мы видим на каждом шагу. Небольшие водоемы очень часто покрыты сплошь на своей поверхности плавающей на них зеленой растительно-

стью. В наших широтах это очень часто зеленые ряски — разные виды Lemna. Поверхность воды представляет сплошной зеленый их покров без промежутков. Растеньица тесно сдвинуты, их зеленые пластинки заходят друг на друга; процесс размножения действует, но он замедлен внешним препятствием — прежде всего отсутствием места. Он проявляется только тогда, когда в зеленом покрове вследствие внешних разнообразных причин — гибели рясок или их уноса — образуются пустые промежутки водной поверхности. Они немедленно замещаются размножением. Очевидно, количество неделимых ряски, могущих поместиться на данной площади, определенно и находится в зависимости от размеров и условий их существования. Когда оно достигнуто, процесс размножения останавливается, задерживается внешним неодолимым препятствием. В каждом пруду создается своеобразное динамическое равновесие, аналогичное тому, какое в нем наблюдается при испарении воды с его поверхности. Упругость паров и упругость жизни механически аналогичны.

Другой всем известный пример представляет в картине природы жизнь зеленой водоросли — разных видов Protococcus, обладающей гораздо большей геохимической энергией, чем ряска. Она покрывает в благоприятных условиях сплошь без промежутков (§ 50) стволы деревьев. Дальше ей идти некуда; ее процесс размножения задержан; он возобновляется вновь, как только открывается возможность помещения новых неделимых Protococcus. Количество неделимых этой водоросли, могущих поместиться на площади дерева, строго определенно и не может быть превзойдено.

36. Эти соображения могут быть целиком перенесены на всю живую природу и на область, доступную ее обитанию, — на поверхность нашей планеты.

Наибольшее могущее существовать проявление силы размножения живого вещества определено размерами планеты и выражается в количестве неделимых, которые могут разместиться на площади, равной $5{,}10065\times10^8$ км^2. Это количество есть функция густоты скопления организмов, возможной для их жизни.

Эта густота очень различна; для ряски или одноклеточной водоросли протококка она определяется только их размерами; другие организмы требуют гораздо большей площади (или объема) для жизни. Слон в Индии требует до 30 км^2, овца на горных пастбищах Шотландии — около 10^5 м^2, средний улей пчел — не менее 10-15 км^2 (одна пчела — не менее 210^{-4} км^2, т.е. 200 м^2) среднего красного леса Украины, от 3000 до 15000 неделимых планктона хорошо развиваются в 1000 см^3 морской воды, 25-30 см^2 достаточно для обычных злаков, несколько (иногда десятков) квадратных метров — для неделимых обычного нашего леса.

Очевидно, скорость передачи жизни зависит от возможной густоты хорошо живущей, не страдающей в своих проявлениях совокупности неделимых, от *плотности* живого вещества.

Не буду здесь останавливаться на очень еще мало изученной этой важной константе жизни в биосфере[1]. Ясно, что наибольшая плотность сплошного по-

[1] См. мои статьи в: Изв. Акад. Наук. Л., 1926, 272; 1927, 241; Rev. Gen. Sci. P., 1926, 661, 700.

крова (типа ряски или протококка) или сплошного заполнения 1 см^3 мельчайшей бактерией (§ 29) даст нам, если принять ее возможной для всех организмов, наибольшее допустимое для данного вида количество его неделимых в биосфере. Для получения этого числа необходимо принять плотность равной квадрату максимального изменения организма, т.е. его длины и ширины (коэффициент k_1^1).

37. Ограничение размножения размерами планеты, неизбежная остановка процесса уже этим путем, помимо более глубокого влияния, оказываемого, как увидим, зеленой средой (§ 123), придают этому процессу очень своеобразные и важные черты.

Прежде всего, очевидно, есть предельное, одинаковое для всех организмов, наибольшее расстояние, по какому может распространяться передача жизни. *Оно равно земному экватору, т.е. 40 075 721 м.*

Во-вторых, для всякого вида или расы есть максимальное количество неделимых, которое не может быть никогда превзойдено. Это максимальное число получается при полном заполнении данным видом земной поверхности при максимальной возможной густоте его обитания. Это число, которое я буду дальше обозначать N_{max} и называть *стационарным числом однородного живого вещества,* имеет большое значение для оценки геохимического влияния жизни. Оно отвечает максимально возможному проявлению энергии данного однородного живого вещества в биосфере, максимальной его геохимической работе; скорость его достижения, разная для каждого организма, выражается скоростью *v* — передачи жизни.

Эта скорость — *v*— связана со стационарным числом следующей формулой:

$$v = 13963{,}3\ \Delta / \lg N_{max}.$$

Очевидно, если скорость передачи жизни остается постоянной, Δ, характеризующая силу размножения (§ 32), должна уменьшаться, размножение организмов должно в данном объеме или на данной площади идти все медленнее и медленнее по мере того, как число созданных неделимых увеличивается, приближается к стационарному.

38. Мы видим это явление в окружающей нас природе. Оно давно было замечено старыми натуралистами и ярко подчеркнуто около 40 лет назад точным наблюдателем живой природы К. Земпером (1888). Земпер отметил, что в небольших водоемах при всех равных условиях размножение организмов уменьшается по мере увеличения в них количества неделимых. Стационарное число не достигается или достижение его замедляется по мере приближения к нему количества создаваемых организмов; существует какая-то причина, может быть не всегда внешняя (§ 43), регулирующая процесс. Опыты Пирля и его сотрудников над мухой Drosophila и над курами (1911-1912) подтверждают это обобщение Земпера в другой среде.

39. Скорость передачи жизни может давать нам ясное понятие о геохимической энергии жизни разных организмов. Она колеблется в больших пределах и

[1] См. мои статьи в: Изв. Акад. Наук. Л., 1926, 272; 1927, 241; Rev. Gen. Sci. P., 1926, 661, 700.

находится в тесной зависимости от размера организма. Для самых мелких организмов, для бактерий, она, как мы видели, близка к скорости звука, т.е. к величине, равной 33 100 см/с. Для самых крупных, для крупных млекопитающих, она равна долям сантиметра — для индийского слона, например, $v = 0{,}09$ см/с.

Это крайние пределы. Между ними помещаются скорости передачи жизни для всех других организмов. Они находятся в явной зависимости от размеров организма, и в более простых случаях (например, для организмов, форма которых приближается к шару) связь размеров организма с его скоростью v может быть уже сейчас математически выражена. Но существование определенной математической зависимости всегда и везде в этой области несомненно и отвечает старинному прочному эмпирическому обобщению (§ 32).

40. Скорость передачи жизни дает ясное понятие об энергии жизни в биосфере, о ее в ней работе, но оно недостаточно для ее определения. Для этого мы должны принять во внимание массу того организма, энергия растекания совокупностей которого в биосфере определяется скоростью v.

Выражение $pv^2/2$, где p — средний вес организма[1], скорость растекания геохимической энергии которого равна v, дает нам выражение *кинетической геохимической энергии* живого вещества. Взятое по отношению к определенным площади или объему биосферы, оно может дать нам выражение той химической работы, которая в геохимических процессах этих площади или объема может быть произведена данным видом или расой организмов.

Уже давно мы имеем подходы к определению этим путем по отношению к определенной площади биосферы — гектару — части геохимической энергии живого вещества. Это делается при определении *урожаев* — количества с данной площади полезных человеку организмов или их продуктов.

В более полной форме оно выражается в количестве органического вещества, которое может быть создано размножением и ростом организмов на гектаре.

Хотя эти данные очень неполны и не охвачены теорией в достаточной степени, они привели уже к важным эмпирическим обобщениям.

Несомненно, количество создаваемого на гектаре органического вещества ограниченно и теснейшим образом связано с той солнечной лучистой энергией, которую захватывает зеленое растение. Геохимическая энергия, собранная этим путем — размножением организмов, есть измененная солнечная энергия.

Во-вторых, все более выясняется, что в случаях максимальных урожаев количества органического вещества с гектара почвы и гектара океана суть,числа одного порядка, приближающиеся к одной и той же величине. Гектар суши охватывает ничтожный слой, не превышающий метров, гектар океана отвечает слою воды, захваченной жизнью, измеряемому километрами. Тождественность создаваемой в

[1] Выражение p для среднего веса организма вида (или среднего веса неделимого однородного живого вещества), может и должно быть логически заменено тем средним количеством атомов, которое соответствует неделимому виду. При настоящем положении наших знаний нас должен интересовать не вес атомов, а лишь их число, которое представляет реальное явление. К несчастью, оно может быть вычислено лишь в исключительных случаях, так как почти нет элементарных химических анализов организмов

них энергии жизни, очевидно, указывает на *освещение* сверху как на ее источник.

Мы увидим, что, вероятно, это связано с характерным свойством почвы суши, скопляющей в себе концентрацию организмов, обладающих огромной геохимической энергией (§ 155). Благодаря этой концентрации энергии живого вещества тонкий слой почвы по своему геохимическому эффекту может сравниваться с огромной толщей моря, где центры жизни разжижены инертной массой воды.

41. Кинетическая геохимическая энергия организма $pv^2/2$, взятая по отношению к гектару, т.е. к 10^8 см^2, выражается следующей формулой, где $10^8/k$ — количество организмов на гектар при достижении ими стационарного числа (§ 37), а k — коэффициент плотности жизни (§ 36) :

$$A_1 = \frac{pv^2}{2} \times \frac{10^8}{k} = \frac{pv^2 N_{\max}}{2{,}5100065 \times 10^{18} k}$$

Чрезвычайно характерно, что эта величина для Protozoa есть величина постоянная. Для них всех выражение A_1 принимает формулу:

$$A_1 = \frac{pv^2}{2} \times \frac{10^8}{k} = \alpha \times 3{,}51 \times 10^{12}\, CGS,$$

где α — коэффициент, близкий к единице[1].

Из этой формулы ясно, что кинетическая геохимическая энергия Protozoa определяется скоростью v, связанной с весом, размерами организма и темпом размножения Δ. Отнесенное к Δ, v выражается следующей простой формулой [2]:

$$v = 46383{,}93 \lg 2\Delta / 1870762 - \lg k$$

в которой числовые, постоянные для всех видов организмов коэффициенты связаны с размерами планеты (с площадью ее поверхности и длиной ее экватора, причем величины выражены в сантиметрах и секундах)[3].

Из формулы скорости очевидно, что одни размеры планеты не могут объяснить действительно существующий предел для v и Δ .

Наибольшая нам известная величина v равна 33 100 см/с, а наибольшая величина Δ — около 63–64.

Могут ли они идти дальше (что, как это видно из приведенных формул, возможно и при постоянстве кинетической энергии на гектар), или есть в биосфере условие, этому препятствующее?

Такое условие есть, и им является газовый обмен организмов, неизбежный и необходимый для их существования, и в частности для их размножения.

42. Организм не существует без газового обмена, без *дыхания.* Чем размно-

---

[1] Отвечает плохо известному удельному весу Protozoa

[2] $v = S/t = 4{,}0075721 \times 10^9 / 46383{,}93$ см/с, где S – длина экватора, t – число секунд в сутках, 18 lg5,10065 – 18,70762. Ред

[3] Выражение v существует для всех организмов, а не только для Protozoa. Формула A_1 для высших групп, для Methazoe и Metaphyta имеет иную, меньшую величину, что связано с явлениями дыхания и глубоким отличием их организации от организации простейших. Не могу здесь выходить в рассмотрение этих важных и сложных явлений.

жение идет быстрее, тем дыхание становится интенсивнее. По степени газового обмена мы всегда можем судить об интенсивности жизни.

В масштабе биосферы нам необходимо, конечно, иметь в виду не дыхание отдельного организма, а общий результат дыхания, необходимо учесть газовый обмен — дыхание всех живых огранизмов, обнять его, как часть механизма биосферы.

В этом отношении давно имеются эмпирические обобщения, очень мало до сих пор обращавшие на себя внимание и не учтенные нашей научной мыслью.

Одно из них указывает, что *газы биосферы те же, которые создаются при газовом обмене живых организмов.* В биосфере существуют только они одни: O_2, N_2, CO_2, H_2O, H_2, CH_4, NH_3... Это не может быть случайностью.

Затем, весь свободный *кислород* биосферы создается на земной поверхности *только благодаря газовому обмену зеленых организмов.* Этот свободный кислород есть главный источник свободной химической энергии биосферы.

И наконец, в-третьих, *количество* этого *свободного кислорода* в биосфере, равное $1{,}510^{21}$ г, есть число того же порядка, как и количество существующего и с ним неразрывно связанного живого вещества, исчисляемое в 10^{20}–10^{21} г. Оба эти исчисления получены вполне независимо друг от друга.

Эта тесная связь газов Земли с жизнью указывает с несомненностью, что газовый обмен организмов — и на первом месте их дыхание — должен иметь первостепенное значение в газовом режиме биосферы, т.е. являться, *планетным явлением.*

43. Этот газовый обмен — дыхание — определяет весь темп размножения; он ставит пределы для величин v и Δ .

Они не могут перейти через пределы, нарушающие свойства газов.

Я уже указывал (§ 29), что количество организмов, могущих существовать в одном кубическом сантиметре среды, должно быть меньше количества в нем газовых молекул, т.е. меньше $2{,}706$–10^{19} (число Лошмидта). Если величина v будет больше 33 100 см/с, то для организмов, размеры которых меньше размеров бактерий (т.е. размеров меньшего порядка, чем $n.10^{-5}$), количество неделимых благодаря их размножению превысит 10^{19} в 1 $см^3$. Очевидно, при неизбежном существовании обмена между газовыми молекулами и организмами количество поглощающих и выделяющих газовые молекулы организмов, соизмеримых с молекулами по своим размерам, должно было бы расти по мере уменьшения размеров организмов с все большей, в конце концов невероятной, быстротой.

По нашим современным представлениям, таким образом приходим к физическому абсурду.

Если ограничение количества неделимых в кубическом сантиметре определяет наименьшие размеры организма и этим путем ставит максимальный предел для Δ и v, то неизбежное постоянное соотношение между количеством неделимых и газовых молекул в данном объеме — *явления дыхания* — играет еще большую и постоянно проявляющуюся роль в явлениях размножения.

Дыхание, очевидно, регулирует весь этот процесс на земной поверхности, устанавливает взаимные соотношения между количеством организмов разной пло-

довитости, определяет, подобно температуре, величину Δ , которой может достигать данный организм в действительности; оно же определяет максимальную Δ , отвечающую размерам организма, не допускает достижения стационарных чисел.

В мире организмов в биосфере идет жесточайшая борьба за существование — не только за пищу, но и за нужный газ, и эта последняя борьба более основная, так как она нормирует размножение.

Дыханием определяется максимальная возможная геохимическая энергия жизни на гектар.

44. Результат этого газового обмена и определяемого им размножения организмов огромен даже в масштабе биосферы.

Ничего аналогичного, даже в отдаленной степени, не представляет косная ее материя.

Ибо благодаря размножению каждое живое вещество может создать новые любые количества живой материи. Вес биосферы нам неизвестен, но он составляет небольшую долю веса земной коры, до 16 км мощностью (§ 77), вес которой равен $2{,}0\times10^{25}$ г. Равное весу коры количество вещества может быть силой размножения создано в ничтожное, не геологическое время, если только этому не препятствует внешняя среда.

Холерный вибрион и *Bacterium coli* могут дать эту массу вещества в 1,60-1,75 суток. Зеленая диатомовая водоросль *Nitzschia putrida* — миксотрофный организм морской грязи, питающийся разлагающимися органическими веществами и в то же время захватывающий солнечный луч, — может дать $2{,}0\times10^{25}$ г вещества в 24,5 *суток*. Это один из наиболее быстро размножающихся зеленых организмов, может быть, в связи с тем, что часть органических веществ он получает в готовом виде. Один из наиболее медленно размножающихся организмов — слон может дать то же количество вещества в 1300 лет. Но что значат годы и столетия в геологическом, т.е. планетном, времени!

Мы должны к тому же иметь в виду, что при дальнейшем ходе времени новые массы, равные той же величине $2{,}0\times10^{25}$ г, должны были бы получиться в несравненно более короткие сроки.

Эти числа дают нам понятие о тех силах, которые проявляются в явлениях размножения.

45. Конечно, в действительности ни один организм не дает таких количеств.

Однако перемещения таких масс в биосфере силой размножения даже в течение одного года отнюдь не являются фантастическими, и даже в действительности они малы.

Эти числа не ирреальны. Мы действительно наблюдаем проявления жизни, им отвечающие, в окружающей нас природе.

Едва ли можно сомневаться, что жизнь в течение года путем размножения создает количества неделимых и отвечающие им массы вещества, порядка 10^{25} г, и, вероятно, в очень большое количество раз большие.

Так, в каждый момент в биосфере существует $(n\times10^{20}) - (n\times10^{21})$ г живого вещества. Это вещество вечно разрушается и создается главным образом не ростом,

а размножением. Поколения создаются в промежутках от десятков минут до сотен лет. Ими обновляется вещество, охваченное жизнью. То, которое находится в каждую минуту в наличности, составляет ничтожную долю созданного в году, так как колоссальные количества создаются и разрушаются даже в течение суток.

Перед нами динамическое равновесие. Оно поддерживается трудно охватываемым мыслью количеством вещества. Очевидно, что даже в сутки создаются и разрушаются смертью, рождением, метаболизмом, ростом колоссальные массы живого вещества. Кто может измерить количества вечно создающихся и вечно гибнущих неделимых? Эта задача еще более трудного порядка, чем исчисление песчинок моря — задача Архимеда. Как исчислить живые песчинки, непрерывно меняющиеся в своем количестве с ходом времени?

Здесь одновременно скопляются и меняются бесчисленные неделимые в пространстве и во времени. Число их бывших и настоящих даже в течение одного человечески короткого промежутка времени превышает количество песчинок морского песка, несомненно, неизмеримо более чем в 10^{25} раз!

ЗЕЛЕНОЕ ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО

По сравнению с силой размножения, с геохимической энергией живого вещества, массы его, находящиеся в каждый момент в биосфере, — 10^{20} — 10^{21} г — являются небольшими.

Эти массы генетически связаны в своем существовании с зеленым живым веществом, единственным способным захватывать лучистую энергию Солнца.

К сожалению, наши современные знания не позволяют учесть, какую часть всего живого вещества составляет зеленый мир растений. Можно пока дать лишь (очень приблизительное понятие о количественной стороне явления.

Нельзя утверждать, что количественно по своей массе зеленое живое вещество преобладает на всей поверхности Земли, но, по-видимому, оно преобладает на *суше.* В океане обычно считается, что количественно — по массе — преобладает животная жизнь. Если даже животная — гетеротрофная — жизнь преобладает в конце концов в массе всего живого вещества, то это преобладание не может быть очень велико.

Не разделяется ли живое вещество на две половины или почти на две половины по весу: на зеленое автотрофное и на его порождение — гетеротрофное? Ответить на этот вопрос мы не умеем.

Но, во всяком случае, несомненно, что уже одно зеленое живое вещество дает массы того же порядка — 10^{20} – 10^{21} г, какие отвечают *всему* живому веществу.

47. Строение этого зеленого трансформатора солнечной энергии на суше и в море резко различно. На суше преобладает *травяная* явнобрачная растительность, *древесная* составляет по весу значительную, может быть близкую ей, часть; зеленые водоросли и другие тайнобрачные, особенно протисты, отходят на задний план. В океане преобладают одноклеточные микроскопические зеленые организмы; травы, как *Zostera,* и большие водоросли составляют по весу небольшую часть растител-

ной жизни; они сосредоточены у берегов и в более мелких местах, куда проникает солнечный луч; их плавающие скопления, как скопления саргассов в Атлантическом океане, теряются в общей безмерности морских пределов.

Зеленые метафиты преобладают на суше; из них наиболее быстро размножаются — обладают большей геохимической энергией — травы. Скорость передачи жизни древесной растительности, по-видимому, меньше. Зеленые протисты преобладают в океане.

Скорость *v* для метафитов едва ли превышает сантиметры в секунду; для зеленых протистов она достигает тысяч сантиметров, т.е. превышает в сотни раз силу размножения метафитов.

Это явление резко характеризует различие жизни моря и суши. Хотя в море зеленая жизнь, может быть, и менее господствует, чем та же жизнь суши, но общее количество зеленой жизни в океане благодаря его преобладанию над сушей на нашей планете по массе превышает растительность суши.

Зеленые протисты океана являются главными трансформаторами световой солнечной энергии в химическую энергию нашей планеты.

48. Можно выразить разный энергетический характер зеленой растительности суши и моря в точных числах и иначе.

Формула $2^{n\Delta} = N_n$ (§32) дает нам приращение организма в сутки (α) при размножении; беря *один* исходный организм, мы имеем для него (в первый день, когда n = 1): $2\Delta - 1 = \alpha$. Откуда $2\Delta = (\alpha+1)$ и $2n\Delta = (\alpha + 1)\, n$.

Величина а есть постоянная для каждого вида; она определяет суточное приращение количества неделимых, сведенное к одному неделимому, т.е. указывает увеличение в каждые сутки одного неделимого.

Величина $(\alpha+1)^n$, очевидно, определяет количество неделимых, создаваемое размножением в *n*-й день: $(\alpha+1)^n = N_n$

Значение этих чисел видно на следующем примере. По М. Ломану, среднее размножение планктона (учитывая его гибель и поедание) может быть выражено константой α + 1, равной 1,2996. Та же постоянная для среднего урожая пшеницы во Франции равна 1,0130. Эти величины отвечают среднему идеальному суточному значению одного организма пшеницы и планктона после одних суток размножения. Отношение количеств неделимых планктона и пшеницы в первый день от начала размножения равно, таким образом:

$$1{,}2996/1{,}0130 = 1{,}2829 = \delta$$

С каждым следующим днем это отношение будет расти согласно степени δ, т.е. будет в *n*-й день выражаться величиной δ^n.

Для 20-го дня величина равна 145,9, а для сотого дня количество неделимых планктона в $6{,}28\times10^{10}$ раз должно быть больше количества неделимых пшеницы. В годовой оборот, после которого временно замирает развитие пшеницы, эта разница — (δ^{365} — достигает астрономической цифры $3{,}1\times10^{39}$. Конечно, при таком различии темпа размножения разница в весе взрослого травянистого растения суши, весящего сотни граммов, т.е. $n\times10^2$ г, и микроскопического организма планктона,

весящего немногие многомиллионные доли грамма ($n \times 10^{-6} - n \times 10^{-10}$ г), исчезает.

Зеленое организованное вещество моря достигает этого результата благодаря быстроте оборота своего вещества. Сила, в нем заложенная солнечным лучом, позволила бы ему создать в десятки дней, в 50–70 дней, а может быть и меньше, массу вещества, равную по весу земной коре (§ 44). То же предельное количество вещества могла бы дать травяная растительность суши в несколько лет — *Solanum nigrum,* например, в пять лет.

Необходимо иметь в виду, что эти числа не могут быть количественно сравнимы для выражения роли в биосфере зеленой травяной растительности и зеленого планктона.

Для такого сравнения надо их брать в одинаковые промежутки времени от начала процесса, причем различие быстро увеличивается с ходом времени. В то время как *Solanum nigrum* в пять лет дал бы 2×10^{25} г вещества, зеленый планктон должен был бы дать в этот промежуток времени количества, которые трудно выразить понятными нам числами. В следующий, значительно меньший промежуток времени создания того же количества вещества травяной растительностью зеленый планктон дал бы еще большие, еще менее вообразимые числа.

49. Эта разница между зеленым живым веществом суши и моря не является случайностью. Она производится солнечным лучом, связана с различным его отношением к жидкой прозрачной воде и к твердой непрозрачной земле. Быстро размножающийся, т.е. обладающий несравнимо большей энергией в биосфере, мир планктона характеризует не только океаническую жизнь — он характерен для всякой водной жизни по сравнению с жизнью суши.

Величина δ^n может дать понятие о различной энергии сравниваемых живых веществ, но геохимически их энергия проявляется еще в массе, в весе создаваемых неделимых. Масса создаваемого живого вещества определяется произведением количества его неделимых на средний их вес *p,* т.е.

$$M = p\,(1 + \alpha)^n.$$

Только в случае, когда мелкие организмы могут реально дать в биосфере большую массу вещества, они будут, согласно общим принципам энергетики, поставлены в ней в более выгодное положение, чем организмы крупные.

Ибо всякая система достигает устойчивого равновесия, когда ее свободная энергия равняется нулю или к нему приближается, становится наименьшей возможной в данных условиях, т.е. когда вся возможная в условиях системы работа произведена. Мы увидим, что все процессы биосферы — и вообще земной коры — и их общий облик обусловливаются условиями равновесия механических систем, к которым они могут быть сведены.

Одну из таких систем представляет солнечный луч (солнечная радиация) в сочетании с живым зеленым веществом биосферы. Эта система будет в биосфере в устойчивом равновесии, когда солнечный луч совершит в ней максимальную работу, создаст наибольшую возможную массу зеленых организмов.

На суше солнечный луч не может глубоко проникать в ее вещество; он всюду встречает непрозрачные для него тела, и слой создаваемого им зеленого живого вещества очень тонок.

Крупные растения — травы и деревья — в таких условиях имеют все преимущества для своего развития перед зелеными протистами.

Они достигают создания большего количества живого вещества, чем протисты, хотя и производят его в большее количество времени. Но эта их работа в условиях среды суши возможна. Одноклеточные организмы достигают через короткое уже время возможного для них предела развития — стационарного состояния (§ 37) и в системе «солнечный луч — суша» являются неустойчивой формой, так как травяная и древесная растительность суши, несмотря на меньший запас энергии своего механизма, может в этих условиях производить большую работу, дать большее количество живого вещества.

50. Мы на каждом шагу видим отражение этого явления. Ранней весной, когда жизнь пробуждается в наших степях, степи покрываются в короткое время тонким слоем одноклеточных водорослей, главным образом быстро растущими большими ностоками. Этот зеленый покров быстро исчезает, сменяется медленно растущею, обладающею меньшей геохимической энергией травяною растительностью, так как благодаря свойствам непрозрачного твердого вещества суши трава, а не стоящий впереди ее по геохимической энергии носток является неизбежно в конце концов господствующей. Кора деревьев, камни и почва покрываются всюду чрезвычайно быстро растущими протококками. Во влажные дни они в немного часов дают из весящей миллионные доли грамма клетки дециграммы или граммы вещества. Дальше их развитие не идет даже в самых благоприятных условиях, в странах влажного климата. Так, в платановых рощах Голландии стволы деревьев покрыты постоянным сплошным покровом протококков, находящихся в неизменном равновесии, ибо рост их дальше не идет из-за непроницаемости для света несущего их тела. Совсем в ином положении находятся их водные родичи, свободно развивающиеся в прозрачной среде сотен метров мощностью.

Наши травы и наши деревья суши создали всю свою форму, как увидим, выдвинувшись в прозрачную воздушную среду. Во всем их облике, во всем бесконечном разнообразии их форм мы видим то же самое стремление дать максимум работы, получить максимальную величину живого веса. Они нашли для этого новый путь, захватывая новую среду — тропосферу.

51. В океане, в воде, условия совершенно другие. Здесь солнечный луч проникает на сотни метров и с помощью своей большей, чем для зеленых трав и деревьев, геохимической энергии зеленая одноклеточная водоросль имеет возможность создать в один и тот же промежуток времени количества живого вещества несравненно большие, чем может дать их в это время зеленое вещество суши.

Здесь использование энергии солнечного луча чрезвычайное, и здесь устойчивой формой жизни является мельчайший зеленый организм, а не крупное растение. И в связи с этим — благодаря тем же причинам — здесь наблюдается исключительное обилие животной жизни, быстро поедающей зеленый планктон и

позволяющей ему этим путем превращать в живое вещество все большее и большее количество лучистой солнечной энергии.

52. Мы видим, что солнечный луч — носитель космической энергии — не только возбуждает механизм ее превращения в химическую земную, но и создает саму форму трансформаторов, которая является Нам в виде живой природы. Космическая сила придает ей разный вид на суше и в воде, и она же меняет ее структуры, т.е. определяет количественные соотношения, существующие между разными автотрофными и гетеротрофными организмами. Всюду эти явления, подчиненные законам равновесия, неизбежно должны выражаться числами, которые нам едва начинают становиться известными.

Эта космическая сила вызывает *давление жизни*, которое достигается размножением (§ 27). В нем мы в действительности видим передачу солнечной силы на земную поверхность.

Это давление мы, в сущности, постоянно чувствуем в нашей культурной жизни. Человек, меняя девственный облик природы, освобождая некоторые места поверхности суши от зеленой растительности, должен всюду давлению жизни противопоставлять усилие, тратить энергию, ему равную, нести труд. Как только человек перестал бы тратить на это силы и средства, сейчас бы все его лишенные зеленой растительности сооружения скрылись бы в массе зеленых организмов. И сейчас всюду, где можно, они захватывают отнятую от них человеком площадь.

Это давление сказывается *во всюдности жизни.* Области, совсем и всегда ее лишенные, нам неизвестны; на самых твердых скалах, в снежных и ледяных полях, в пустынных песчаных и щебневых областях мы всегда встречаемся с проявлением жизни. Механически сносятся туда неподвижные растительные организмы, постоянно зачинается и прекращается микроскопическая жизнь, заходят, живут и останавливаются в них самостоятельно передвигающиеся животные.

Иногда в этих областях мы имеем даже сгущения жизни, богатые ее области, но это не зеленый мир трансформаторов. Птицы, звери, насекомые, паукообразные, бактерии, изредка зеленые протисты составляют население этих кажущихся нам безжизненными областей.

По отношению к зеленому миру растений они действительно являются *азойными.* Наряду с ними в этом отношении должны быть поставлены временные прекращения зеленой жизни в областях наших широт, в снежных покровах, в зимнем замирании фотосинтеза.

Такие явления существовали на нашей планете во все геологические эпохи. Они всегда имели ограниченные пределы. Всегда их пыталась, но не могла захватить жизнь, приспособиться к существованию в их условиях.

Каждое не занятое жизнью место в живой природе независимо от причин его возникновения с течением времени обязательно заполняется. Часто совсем новая флора и фауна заселяют такие лишенные жизни водоемы или еще не заселенные вновь появившиеся участки суши.

При новых условиях в течение геологических периодов развиваются ранее неизвестные виды и подвиды организмов.

Интересно и важно, что в новой структуре этих организмов можно узнать структуру и особенности их предков, но в преобразованном виде, как это необходимо для новых специфических условий новой среды (Л. Кэно). Это морфологическое изменение является не чем иным, как проявлением той же геохимической энергии, которая вызывает *давление жизни* и сказывается во *всюдности жизни.*

В любой момент существования планеты области азойные или области со скудной растительностью имеют ограниченное распространение, но они все же существуют, и на суше они заметнее, чем в гидросфере.

Едва ли это случайно, но мы не знаем, чем вызвано это ограничение проявления энергии жизни, наблюдаемое только на суше: соотношением ли между земными силами, противодействующими жизни, и силой солнечного луча или неизвестными нам свойствами излучений?

53. Приспособление зеленых растений к улавливанию космической энергии проявляется не только в их размножении. Фотосинтез идет главным образом в мельчайших микроскопических пластидах, более мелких, чем клетки, в которых они находятся. Мириады этих зеленых телец рассеяны в растениях, и они в своей массе дают нам впечатление зеленого цвета.

Всматриваясь в любой зеленый организм, можно ясно видеть — в мелочах и в крупном — приспособляемость его для улавливания *всех* доступных ему солнечных световых излучений. Площадь зеленых листьев каждого отдельного растительного организма является максимальной, и их распределение в пространстве направлено к тому, чтобы ни один луч света не миновал захватывающего его микроскопического аппарата превращения энергии. Луч, падая на Землю, всюду встречает ловящий его организм. Механизм этот подвижен, и совершенство его превышает механизмы, созданные нашей волей и нашим разумом.

Этим определяется строение окружающей нас растительности. Листовая площадь лесов и лугов превышает в десятки раз площадь насаждений, луговые травы наших широт — в 22–38 раз, поле белой люцерны — в 85,5 раза, буковый лес — в 7,5 раза и т.д. В этих исчислениях не принимается во внимание посторонний органический мир, повсюду заполняющий получаемые при росте крупных растений пустые промежутки. В наших лесах замещают деревья зеленая травяная растительность почвы, мхи и лишайники, подымающиеся по стволам, зеленые водоросли влажных областей, их покрывающие, быстро зарождающиеся при сколько-нибудь благоприятных условиях тепла и влажности. В покрывающих большую часть суши культурных полях человек достигает с величайшим трудом и огромной затратой энергии — и очень редко — чистоты посева; в них всюду пробиваются посторонние зеленые травы.

До появления человека в девственной природе это строение было выражено особенно резко, и мы можем еще всюду научно наблюдать его остатки. В свободных участках «девственной степи», сохранившихся нетронутыми на юге России, можно было видеть установившееся извека природное равновесие, которое вновь в них возродилось бы в одно-два столетия, если бы исчезло действие воли и разума человека. Такую степь ковыля-тырсы *(Stipa capillata)* И. К. Пачоский опи-

сывал (1903) для Херсонщины: «Это было впечатление моря; никакой растительности — по пояс и выше взрослому человеку, кроме тырсы, видно не было; совокупность целинной растительности часто почти сплошь покрывала поверхность земли, затеняя ее и тем способствуя сохранению влаги у самой поверхности. Это позволяет между пучками листьев и даже под их прикрытием произрастать лишайникам и мхам, которые бывают зелеными даже в середине лета».

Ту же картину сплошного зеленого покрова дают для первобытных травянистых степей Южной Америки — саванн старые наблюдатели, например Ф. Азара (1781–1801). Он писал, что растительный покров там такой густой, что земля виднеется только на дорогах, у ручьев или в береговых обрывах.

Эти «девственные», насыщенные зеленым веществом степи сохранились лишь местами. Их заменили зеленые поля человека.

В наших широтах зеленые травы существуют периодически; их жизнь тесно связана с астрономическим явлением — вращением Земли вокруг Солнца.

54. Всюду в других проявлениях растительной жизни мы наблюдаем ту же картину насыщенности земной поверхности зеленым покровом. Лесные заросли тропиков и субтропических стран, тайга умеренных и северных широт, саванны, тундра — все они, поскольку они не тронуты человеком, являются разным выражением бессменного или периодически повторяющегося зеленого сплошного покрова планеты. Нарушение вносится человеком, но нельзя сказать, уменьшает ли он или только перераспределяет зеленый земной трансформатор энергии.

Всюду и сейчас растительные сообщества и формы отдельных растений приноровлены к тому, чтобы многократно перехватить солнечный луч, не дать ему миновать микроскопические хлорофилльные пластиды. Нет сомнения, что в общем всюду, за исключением постоянно или временно лишенных жизни азойных областей, луч света не может попасть на земную поверхность, не пройдя через слой живого вещества, в *сотню раз, должно быть, превышающий* ту площадь, которую бы он освещал в безжизненной среде косного вещества.

55. Суша составляет меньшую (29,2 %) часть лика Земли. Главная часть занята морем. И в нем сосредоточена главная масса зеленого живого вещества; оно является главным трансформатором световой лучистой солнечной энергии в земную химическую.

Зеленый цвет сосредоточенного в море живого вещества обычно не виден; это вещество распылено на мириады микроскопических всюду проникающих зеленых одноклеточных водорослей. Они свободно плавают, иногда сгущаясь, иногда разжижаясь, на всей безбрежной, исчисляемой миллионами квадратных километров поверхности океана. Они проникают всюду, куда проникает солнечный луч, до глубины 400 м, заносятся течениями, спускаются ниже, но главные массы их сосредоточены на глубинах 20–50 м. Они подымаются и опускаются, находясь в вечном движении. Их размножение меняется в зависимости от температурных и других условий, возрастает или уменьшается в зависимости от обращения планеты вокруг Солнца.

Едва ли можно сомневаться, что и здесь используется целиком все световое лучеиспускание Солнца.Совершенно правильно смещают друг друга по мере углу-

бления зеленые, синие, бурые, красные водоросли; красные багрянки используют последние остатки не поглощенного водою солнечного света — голубую его часть.

Как показал В. Энгельман, все эти разноцветные водоросли приспособлены к максимальному фотосинтезу в условиях находящихся в области их нахождения световых излучений.

Такая смена организмов с глубиной наблюдается везде в гидросфере. Местами у берегов или у мелей или в таких своеобразных образованиях, как Саргассово море Атлантического океана, связанных с геологической историей местности, — не видимый глазом планктон сменяется огромными плавучими полями или лесами водорослей (иногда гигантских) и трав, много более могучими лабораториями химической энергии, чем самые большие лесные массивы суши.

Но площадь, ими занятая, невелика — не превышает нескольких процентов общей площади чистого планктона.

56. В конце концов на нашей планете поверхность ее покрывается временами зеленым сплошным покровом. Всегда лишенные зеленой растительности места, бедные жизнью, или азойные — безжизненные пространства едва ли составляют 5–6 % земной поверхности. Если даже мы примем их во внимание, то и в таком случае слой зеленого вещества, покрывающий нашу планету, занимает, повидимому, всегда площадь, не только много превышающую ее поверхность, но и находящуюся в соотношении с космическими явлениями — с Солнцем.

Несомненно, в среднем даже на суше площадь зеленого слоя, захватывающего солнечные лучи, превышает в максимальном его проявлении более чем в 100 раз ее поверхность, покрытую растительностью. В мощном верхнем слое Мирового океана приблизительно в 400 м — зеленая поверхность той же толщины (примерно в толщину листа растения или зеленого слоя наземных зеленых протистов) превысит, несомненно, эту величину во много раз. В конце концов на пути солнечного луча получается сплошная поверхность микроскопических хлорофилльных трансформаторов его энергии, превышающая поверхность самой большой планеты Солнечной системы — Юпитера или к ней близкая. Поверхность Земли равна $5{,}1\times10^{8}$ км^2, поверхность Юпитера — $6{,}3\times10^{10}$ км^2; принимая, что 5% поверхности нашей планеты лишено зеленой растительности и что захватывающая солнечный луч площадь ее увеличивается размножением зеленой растительности от 100 до 500 раз, зеленая площадь в максимальном ее проявлении будет соответственно $(5{,}1\times10^{10})$–$(2{,}55\times10^{11})$ км^2.

Едва ли может быть сомнение, что эти числа не случайны и что указанный механизм находится в теснейшей связи с космическим строением биосферы. Он должен находиться в связи с характером и количеством солнечного лучеиспускания.

Поверхность Земли составляет несколько меньше 0,0001 поверхности Солнца ($8{,}6\times10^{-3}$ %). Зеленая площадь ее трансформационного аппарата дает уже числа иного порядка — она составляет 0,86–4,2 % площади Солнца.

57. Невольно бросается в глаза, что порядок этих чисел отвечает порядку той части солнечной энергии, которая улавливается в биосфере живым зеленым веществом.

В связи с этим можно исходить из этого совпадения в исканиях объяснения зеленения Земли.

Захватываемая организмами солнечная энергия составляет небольшую часть той, которая достигает поверхности Земли, получающей, в свою очередь, от Солнца только ничтожную долю всего его излучения. Из всей солнечной энергии, равной 4×10^{30} больших калорий в год, Земля, по С. Аррениусу, получает $1{,}66\times10^{21}$ больших калорий в год.

Только эта космическая энергия и может быть принимаема во внимание при современной точности наших знаний в этой области. Едва ли радиация всех звезд, достигающая земной поверхности, много превышает $3{,}1\times10^{-5}$% солнечной, как это было уже установлено И. Ньютоном. Принимая во внимание лучеиспускание всех планет и Луны, значительная часть которого отраженная, солнечная энергия, можно считать, что количество энергии, этим путем получаемое Землей, не достигнет и 0,01 всей энергии, получаемой земной поверхностью от Солнца.

Значительная часть этой энергии захватывается верхней земной оболочкой — атмосферой, и только 40% — $6{,}7\times10^{20}$ калорий — достигает земной поверхности и находится, таким образом, в распоряжении зеленой растительности.

Из этой энергии главная часть идет на тепловые процессы земной коры и связана с тепловым режимом океана и атмосферы. Несомненно, значительная ее часть захватывается в этом режиме и живым веществом и нами не учитывается в балансе химической работы жизни. Но само собой разумеется, что в *создании жизни* в биосфере она играет огромную роль. Но она не проявляется непосредственно в *создании новых химических соединений*, которые одни лишь дают мерку химической работы жизни.

На химическую работу, на создание нестойких в термодинамическом поле биосферы (§ 89) органических соединений, зеленая растительность использует только некоторые, определенные излучения в пределах приблизительно 670–735 mμ (Danggeard, Desroche, 1910–1911); хотя другие лучи (между 300 и 700 mμ) и имеют известное значение, они все же оказывают сравнительно малозаметное действие.

В связи с этим, а не в связи с несовершенством аппарата трансформации зеленое растение использует лишь небольшую часть солнечной радиации, его достигающей. По Ж.Буссенго, зеленое культурное поле может захватить 1% солнечной падающей энергии, превращая ее в органическое горючее вещество. С. Аррениус думает, что в интенсивной культуре эта величина может быть поднята до 2%. По Т. Броуну Р. Эскомбу, она для зеленого листа достигает, по непосредственным наблюдениям, 0,72%. Лесная площадь едва ли использует 0,33% (исходя в вычислениях из древесины) .

58. Эти числа, несомненно, являются минимальными, а не максимальными. В исчислении Ж. Буссенго даже с поправкой С. Аррениуса принята во внимание растительность суши, притом при предположении, что культурой мы действительно увеличиваем плодородие почвы, а не создаем благоприятные условия для определенного культурного растения, погашая жизнь других, нам ненужных. Эти исчисления неизбежно не принимают во внимание жизнь зеленой «сорной» и ми-

кроскопической растительности, пользующейся благоприятными условиями удобрения и обработки. Помимо полей, и на суше мы имеем богатые жизнью зеленые сгущения — болота, влажные леса и влажные луга, превышающие по количеству жизни насаждения человека (§150).

По-видимому, в среднем количество зеленой растительности на единицу площади моря (гектар), где сосредоточена главная ее зеленая масса, дает числа того же порядка, как для единицы суши. Большее годовое количество создаваемого в море живого вещества объясняется более быстрым темпом его размножения (§49). Растительное вещество столь же быстро поглощается животным миром, как оно создается размножением. Этим путем в планктоне и бентосе океана создаются такие скопления животной бесхлорофилльной жизни, которые лишь изредка наблюдаются (если наблюдаются) на суше.

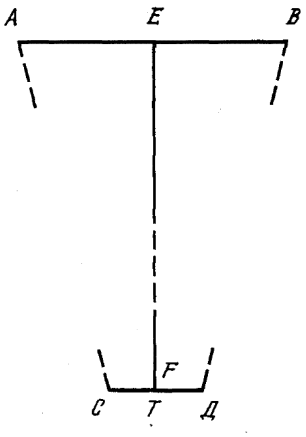
Но как бы ни пришлось увеличить минимальное число Аррениуса, можно и сейчас принять, что порядок явления им указан верно.

Зеленое вещество усваивает немногие проценты достигающей его солнечной лучевой энергии, по-видимому, больше двух ее процентов.

Эти два и больше процента вполне попадают в пределы 0,8–4,2% солнечной поверхности, которой отвечает зеленая трансформационная площадь биосферы (§ 56). До растения достигает 40% всей солнечной энергии, охватывающей нашу планету (§ 57). 2% используемые растением, отвечают 0,8% всей доходящей до Земли солнечной энергии.

59. Можно понять это совпадение только при наличности в механизме биосферы аппарата, использующего *нацело, до конца* определенную часть солнечной энергии. Транформационная зеленая площадь Земли, созданная энергией солнечной радиации, будет отвечать в таком случае той ее части, количеству тех определенной длины волны лучей, в ней находящихся, которые способны производить на Земле химическую работу.

Мы можем светящуюся поверхность быстро вращающегося Солнца, непрерывно освещающего Землю, принять за некоторую светящуюся площадь размером AB (рис. [1]). Из этой площади непрерывно, из *каждой ее точки,* падают на поверхность Земли световые колебания, только *m* % которых — определенной длины волны лучей — могут с помощью зеленого живого вещества переходить в действенную химическую энергию биосферы. Поверхность быстро и непрерывно вращающейся Земли может быть также заменена равною ей по величине освещаемой площадью. При огромных размерах диаметра Солнца по сравнению с диаметром Земли и большом расстоянии от него до Земли эта площадь, очевидно, на рисунке выразится точкой T. Она будет как бы фокусом лучей, исходящих из светящегося Солнца AB. Зеленый трансформационный аппарат биосферы состоит из тончайшего слоя мельчайших пылинок — хлорофилльных пластид. Их действие пропорционально их поверхности, так как чрезвычайно быстро слой хлорофилльного вещества становится непрозрачным для химических лучей, им превращаемых. Заменим и здесь поверхность освещаемых пластид их площадью. В этом случае максимальная трансформация зелеными растениями солнечной энергии будет



происходить тогда, когда на Земле будет существовать приемник света, площадь которого равна m % светящейся площади Солнца или больше ее. В таком случае все нужные для Земли лучи будут захвачены хлорофилльным аппаратом.

На рисунке *СД* обозначает диаметр той окружности, которая отвечает 2 % солнечной светящейся площади[1]. Весь чертеж отнесен к диаметрам кругов, площади которых отвечают светящейся поверхности Солнца (АВ) и принимающей свет поверхности Земли (*Т* и *СД).*

Вероятно, между радиацией Солнца, ее характером (процент лучей *m*), площадью зеленой растительности (и азойными промежутками?) есть числовые соотношения, нам теперь неизвестные.

Космический характер биосферы должен глубоко сказываться и в ее дальнейшем с этим связанном строении.

60. Живое вещество часть получаемой им лучистой энергии держит непрерывно в своем веществе, в живых организмах. Это величина, отвечающая количеству организмов. Все указывает нам, как мы это увидим, что количество жизни на земной поверхности не только мало меняется в короткие промежутки времени, но почти неизменно или неизменно[2] и в геологические периоды (начиная с археозоя и до настоящего времени). Тесная зависимость количества жизни от лучистой энергии Солнца делает это эмпирическое обобщение особенно важным, так как оно связывает ее с такой величиной, как солнечное лучеиспускание, неизменность которого в геологическое время — за время существования Солнечной системы в ее современном виде — едва ли может возбуждать серьезные сомнения. Тесная зависимость основной части жизни — зеленого живого вещества — от солнечных лучеиспусканий определенной длины волны и открывающийся нам механизм биосферы, связанный с *полным их использованием* зеленой растительностью, дают еще новое указание на постоянство количества живого вещества в биосфере.

61. Количество энергии, ежесекундно находящейся в форме живого вещества, может быть учтено. По исчислениям С. Аррениуса, зеленая растительность в форме своих горючих соединений заключает 0,024 % всей солнечной энергии, достигающей биосферы, т.е. $1{,}6\times10^{17}$ больших калорий.

Это огромное — планетное — число; оно, мне кажется, однако, очень преуменьшено. В другом месте[3] я пытался выяснить, что число Аррениуса должно быть

---

[1] На рисунке поверхности сведены к площадям; за единицу принят радиус площади, равной поверхности Солнца. Эти радиусы следующие: Радиус площади, равной поверхности Солнца: $r = 1{,}3889 \times 10^6$ км = 1, то же и для Земли r_1=1,2741 × 10^4 км = 0,0918, 2 % поверхности Солнца $r_2 = 1{,}9650 \times 10^5$ км = 0,14148, $0{,}8r_3 = 1{,}2425 \times 10^5$ км = 0,08947. Выраженное в том же масштабе среднее расстояние Земли от Солнца будет равно $1{,}495 \times 10^8$ км.

[2] Т.е. как во всех равновесиях, колеблется около статического равновесия.

[3] См.: Очерки геохимии. Л.,1934. С. 182. Вернадский В.И. Избр. Соч.: В 5 т. 1954. Т.1. М.:Изд.-во АН СССР, С.189. Ред.

увеличено по крайней мере в 10 раз, а может быть, еще больше. Вероятно, больше 0,25 % солнечной энергии, получаемой Землей, находится все время в запасе — в живом веществе — в форме соединений, находящихся в особом термодинамическом поле, отличном от термодинамического поля косной материи биосферы.

Несмотря на огромные количества вещества, постоянно во время жизни проходящего через организмы, большие количества, например, создаваемого ими свободного кислорода (около $1{,}5\times10^{21}$ г), энергетический годовой эффект жизни выражается в меньших числах, чем создаваемые ею, постоянно восстанавливающиеся размножением и постоянно умирающие существа. Там, как указывалось (§ 45), в течение года передвигаются массы элементов, много раз превышающие вес земной коры до 16 км мощностью, многократные числа порядка 10^{25} г.

Насколько мы можем сейчас его учесть, энергетический привнос живого вещества в биосферу в течение года не так уже много превосходит ту энергию, которую живое вещество держит в своем термодинамическом поле сотни миллионов лет. Она сохраняет в себе в форме горючих своих соединений не менее 1×10^{18} больших калорий, и она использует в год на связанную с их новым созданием и восстановлением истраченного работу не менее 2% падающей на поверхность Земли и океана энергии, т.е. не менее $1{,}5\times10^{19}$ больших калорий. Если это число и будет при дальнейшем изучении увеличено, едва ли порядок 10^{19} калорий изменится.

Так как количество живого вещества остается незыблемым в течение всего геологического времени, связанная с его горючей частью энергия может считаться всегда присущей жизни. В таком случае $n\times10^{19}$ больших калорий в год выразит энергию, ежегодно передающуюся жизнью в биосферу.

НЕСКОЛЬКО ЗАМЕЧАНИЙ О ЖИВОМ ВЕЩЕСТВЕ В МЕХАНИЗМЕ БИОСФЕРЫ

62. Зеленое живое вещество, несмотря на все его значение, не охватывает всех основных проявлений жизни в биосфере.

Химия биосферы вся проникнута явлениями жизни, захваченной ею космической энергией и не может быть понята, даже в своих основных чертах, без выяснения места живого вещества в механизме биосферы, причем она только отчасти связана с зеленым растительным миром.

Механизм этот известен нам в далеко не достаточной степени, но уже теперь можно указать некоторые его правильности, которые мы должны рассматривать как эмпирические обобщения.

В будущем картина явления, несомненно, изменится для нас в чрезвычайной степени, но уже и теперь мы должны на каждом шагу считаться с ее хотя бы несовершенными образами.

Я вкратце остановлюсь здесь на некоторых из них, кажущихся мне наиболее основными.

В истории химического состава живого вещества давно замечена особенность, регулирующая всю его геохимическую историю в биосфере, которая была

отмечена глубоким русским натуралистом К. М. Бэром. Он выразил это для углерода, позже то же было отмечено для азота и может быть целиком перенесено на всю геохимическую историю элементов. Это *закон бережливости* в использовании живым веществом простых химических тел, раз вошедших в его состав.

Бережливость в использовании живым веществом необходимых для жизни химических элементов проявляется различным способом. С одной стороны, она наблюдается в пределах самого организма. Раз вошедший в него элемент проходит в нем длинный ряд состояний, входит в ряд соединений, прежде чем он выйдет из него и будет для него потерян. Организм вместе с тем вводит в свою систему только необходимые количества элементов для своей жизни, избегая их излишка.

Но это одна сторона явления, на которую обратил внимание К.М. Бэр и которая, очевидно, связана с автономностью организма и со свойственными ему системами равновесия, достигающими устойчивого состояния, обладающего наименьшей свободной энергией.

Еще резче выражена эта особенность геохимической истории организма в их живом веществе, в их совокупности. В неисчислимых биологических явлениях наблюдается проявление здесь закона бережливости. Атомы, вошедшие в какую-нибудь форму живого вещества, захваченные единичным жизненным вихрем, с трудом возвращаются, а может быть, и не возвращаются назад в косную материю биосферы. Организмы, поедающие других, паразиты, организмы симбиозов и сапрофиты немедленно вновь переводят в живую форму материи только что выделенные остатки жизни. В действительности эти остатки в значительной части живые, пропитанные микроскопическими формами. Новые поколения, получаемые размножением, — все эти разнородные, неисчислимые механизмы — улавливают атомы в изменяющейся среде, удерживают их в жизненных вихрях, переводя их из одного в другой.

И это имеет место на протяжении всего круга жизни, сотни миллионов лет. Несомненно, часть атомов неизменного покрова жизни, энергия которого все время держится на уровне порядка 10^{18} больших калорий, никогда не выходит из жизненного круговорота. По образному выражению К.М. Бэра, жизнь *бережлива* в своих тратах захваченного вещества, с трудом и неохотой отдает его назад. *Нормально* она его назад надолго или совсем не выпускает.

63. Благодаря «закону бережливости» можно говорить об атомах, остающихся в пределах живой материи в течение геологических периодов, все время находящихся в движении и миграции, но не выходящих назад в косную материю.

Это эмпирическое обобщение в связи с той совершенно неожиданной и своеобразной картиной, какую оно нам рисует, невольно заставляет углубиться в следствия, которые из него могут быть сделаны, заставляет искать его объяснения.

Сейчас можно это делать только гипотетически. И прежде всего это обобщение выдвигает перед нами вопрос, раньше в науке не ставившийся, но подымавшийся в разной форме (в философских и теологических спекуляциях). Являются ли атомы, так удержанные живым веществом, теми же, какие мы видим в косной

материи? Или же мы имеем среди них иные изотопы, особые их смеси? Это может решить только опыт, который стал этим путем на очередь дня.

64. Одним из важнейших проявлений жизни, имеющих огромное значение в биосфере (§ 42), является газовый обмен организмов с окружающей их газовой средой. Часть этого газового обмена была правильно понята еще А. Лавуазье как *горение.* Этим путем атомы углерода, водорода и кислорода постоянно в огромном числе выходят из жизненных вихрей и в него входят.

Очень возможно, что такое горение в организме не касается основного субстрата жизни — протоплазмы. Возможно, что при жизни организма атомы углерода, уходящие в виде углекислоты в атмосферу или воду, происходят от стороннего в него входящего вещества — пищи, а не от вещества, строящего углеродистый остов организма. В таком случае только в протоплазматической основе жизни и ее образованиях будут собираться удержанные в живой материи, не выходящие из нее атомы.

Необходимо сейчас пересмотреть представление о характере обмена — движения атомов — внутри организма, об устойчивости протоплазмы — воззрения, выдвинутого еще К. Бернаром и не раз подымавшегося в науке.

Может быть, существует связь между этими идеями К. Бернара, между обобщениями К. М. Бэра относительно бережливости жизни и установленным геохимией фактом — постоянства количества живого вещества в биосфере.

Возможно, что все эти идеи относятся к одному и тому же явлению, а именно к неизменности массы протоплазматических образований в биосфере в течение геологических периодов.

65. Изучение явлений жизни в масштабе биосферы дает нам и более определенные указания на теснейшую связь между ней и биосферой, указывает, что явления жизни должны быть рассматриваемы как части механизма биосферы и что те функции, какие живое вещество исполняет в этом сложном, но вполне упорядоченном механизме — биосфере, основным, глубочайшим образом отражаются на характере и строении живых существ.

Среди этих явлений на первое место должен быть поставлен *газовый обмен организмов — их дыхание.* Едва ли может быть сомнение в его тесной связи с газовым обменом планеты, одну из важнейших, если не важнейшую часть которого он составляет.

В 1844 г. в замечательной лекции в Париже Ж. Дюма и Ж. Буссенго указали, что живое вещество может быть рассматриваемо как *придаток атмосферы.* Оно в своей жизни строит из газов атмосферы — кислорода, углекислоты, воды, соединений азота и серы — тело организма; оно переводит эти газы в горючие тела, жидкие и твердые, собирает в виде них космическую энергию Солнца. После своей смерти и во время процесса жизни, при газовом обмене, оно отдает назад в атмосферу те же газообразные части.

Несомненно, это представление отвечает действительности. Генетическая связь жизни с газами биосферы чрезвычайно велика. Она даже глубже, чем это с первого взгляда кажется. Газы биосферы всегда генетически связаны с живым

веществом, и земная атмосфера им определяется в своем основном химическом составе.

Я уже указывал на это явление, когда говорил о значении газового обмена в создании и определении размножения организмов, т.е. проявления их геохимической энергии (§ 42).

Все количество газов, таких, как свободный кислород и углекислота, которые находятся в атмосфере, состоит в динамическом равновесии, в вечном обмене с живым веществом.

Потерянные живым веществом газы немедленно в него возвращаются, и их вход и выход из организма нередко совершаются почти мгновенно. Газовый ток биосферы теснейшим образом связан, таким образом, с фотосинтезом, с космическим источником энергии.

66. Все же возвращается сейчас же назад в живое вещество после его разрушения большая часть атомов, в нем бывших. Меньшая их часть — ничтожный их весовой процент — выходит на долгое время из жизненного процесса.

Этот небольшой процент вещества не является случайностью. Он, повидимому, постоянен и неизменен для каждого элемента.

Он возвращается назад в живое вещество иным путем, тысячелетия, миллионы лет спустя. В это промежуточное время выделившееся из живой материи вещество играет огромную роль в истории биосферы и даже земной коры вообще, так как значительная часть этих атомов выходит на долгое время из *пределов биосферы.*

Мы имеем здесь дело с новым процессом — с медленным проникновением внутрь планеты лучистой энергии Солнца, достигшей поверхности.

Этим путем живое вещество меняет биосферу и *земную кору.* Оно непрерывно оставляет в ней часть прошедших через него химических элементов, создавая огромные толщи неведомых помимо него вадозных минералов или пронизывая тончайшею пылью своих остатков косную материю биосферы. Оно, с другой стороны, своей космической энергией нарушает формы тех соединений, которые образовались помимо непосредственного его влияния (§ 140 и след.).

Вся земная кора целиком, на всю доступную нашему наблюдению глубину, изменена этим путем. Все глубже и глубже в течение геологического времени благодаря этому воздействию живого вещества проникает внутрь планеты измененная лучистая космическая энергия. Вадозные минералы, изменяясь в фреатические формы молекулярных систем, являются орудием этого переноса.

Косное вещество биосферы есть в значительной мере создание жизни, и в этом отношении были более по существу правы в своем представлении о ее геологическом значении натуралисты-философы начала XIX в. — Л. Окен, Ф. Стеффенс, Ж. Ламарк, чем геологи позднейших поколений.

Характерно, что такое влияние на все вещество биосферы, особенно создание толщ вадозных минералов, связано с деятельностью водных организмов. Постоянно идущее перемещение водных вместилищ в геологическое время распространяет получаемые этим путем скопления свободной химической энергии космического происхождения на всю планету.

По-видимому, все эти явления имеют характер установившихся равновесий, и участвующие в них массы вещества так же мало меняются, как мало меняется определяющая их, достигающая нашей Земли энергия Солнца.

67. В конце концов в наружной оболочке — в биосфере — значительная масса ее вещества захватывается и собирается в живых организмах, является измененной под влиянием космической энергии Солнца. Вес биосферы должен быть порядка 10^{24} г. Но само активное живое вещество, носитель солнечной энергии, составляет в среднем не более 1% веса этой наружной земной оболочки — вероятно, даже доли процента. Тем не менее местами оно господствует над косной материей и в тонком слое, например в почве, может составлять значительно больше 25 % по весу.

Итак, появление и образование в нашей планете живой материи есть явным образом явление космического характера, и это чрезвычайно ярко проявляется в отсутствии *абиогенеза,* т.е. в том, что в течение всей геологической истории живой организм происходит из живого же организма, все организмы генетически связаны и нигде мы не видим, чтобы солнечный луч мог захватываться и солнечная энергия превращаться в химическую вне ранее существовавшего живого организма.

Как мог образоваться этот своеобразный механизм земной коры, каким является охваченное жизнью вещество биосферы, непрерывно действующий в течение сотен миллионов лет геологического времени, мы не знаем. Это является загадкой, так же как загадкой в общей схеме наших знаний является и сама жизнь.

ОЧЕРК ВТОРОЙ

ОБЛАСТЬ ЖИЗНИ

... В лучах огневицы развил он свой мир.
Земля зеленела, светился эфир.
Ф. Тютчев, 1831.

БИОСФЕРА — ЗЕМНАЯ ОБОЛОЧКА

68. Значение живого в строении земной коры медленно вошло в сознание ученых и еще до сих пор обычно не оценивается во всем его объеме.

Только в 1875 г. один из крупнейших геологов прошлого века — профессор Венского университета Э. Зюсс ввел в науку представление о *биосфере* как об особой оболочке земной коры, охваченной жизнью. Он закончил этим медленно проникавшее в научное сознание представление о всюдности жизни и непрерывности ее проявления на земной поверхности.

Введя новое понятие об особой земной оболочке, которая обусловлена жизнью, Э. Зюсс высказал в действительности новое очень большое *эмпирическое обобщение,* всех последствий которого он не предвидел. Это обобщение только теперь начинает выясняться благодаря новым научным достижениям, в его время неизвестным.

69. Биосфера составляет верхнюю *оболочку, или геосферу,* одной из больших концентрических областей нашей планеты — *земной коры.*

Физические и химические свойства нашей планеты меняются закономерно в зависимости от их удаленности от центра. В концентрических отрезках они идентичны, что может быть установлено исследованием.

Можно различить две формы в этой структуре: с одной стороны, большие концентрические области планеты —концентры, с другой — более дробные подразделения, называемые *земными оболочками* или *геосферами*[1].

По-видимому, вещество этих областей отделено друг от друга и если переходит из одной области в другую, то этот переход совершается чрезвычайно медленно или временами и не является фактом ее текущей истории.

Каждая область представляет, по-видимому, замкнутую, независимую от другой механическую систему.

Земля сотни миллионов лет, если не миллиарды их, находится в общем в одних и тех же термодинамических условиях. Неизбежно думать, что в ней за это время установились устойчивые, неизменные равновесия вещества и энергии там. где не было внешнего (для механических систем, ее составляющих) притока действенной энергии.

Надо думать, что в замкнутых областях Земли мы имеем механические системы тем более совершенного равновесия, чем меньше к ним приток сторонней энергии.

---

[1] Слово «геосфера» употребляется многими геологами и географами в указанном смысле. Кажется, Д.Меррей впервые (1910) ввел это выражение. Он опирается на идеи Э.Зюсса.

Таких областей по крайней мере три: 1) ядро планеты, 2) промежуточный слой, называемый иногда «сима» (по Зюссу), и 3) земная кора.

70. Ядро земного шара имеет совершенно иной химический состав, чем та земная кора, в которой мы находимся. Возможно, что вещество ядра находится в особом газообразном состоянии (закритического газа), но наши представления о физическом состоянии вещества глубоких частей планеты, находящихся под давлением во многие десятки, если не сотни тысяч атмосфер, очень гадательны. Допустимо нахождение тяжелых элементов или их простых соединений в ядре планеты и в твердом или вязком состоянии, и в газообразном; мыслима для них и высокая температура, в тысячи градусов, и низкая температура, близкая к температуре космического пространства. Обычно законность этого последнего допущения оставляется без внимания, вследствие чего оценка пределов нашего незнания искажается.

Иной и необычный для земной коры химический состав ядра следует из большого удельного веса планеты (5,7) по сравнению с удельным весом верхних оболочек земной коры (2,7). Ядро не может иметь удельный вес меньше 8, а может быть даже 10 и больше[1]. Думают, — и это возможно, — что оно состоит из металлического железа и его металлических соединений.

Несомненно, что на глубине около 2900 км от уровня океана наблюдается сильное изменение в механических свойствах вещества планеты. Этот факт, прочно установленный изучением землетрясений, кажется, не подлежит сомнению.

Такое изменение свойств вещества часто объясняют гипотезой, что сейсмические волны на такой глубине входят в другую область. Эта глубина отвечала бы тогда поверхности металлического ядра.

Однако возможно предположить для этой границы и менее значительные глубины— 1200 или 1600 км, соответствующие другим скачкам, наблюдающимся в ходе сейсмических волн.

71[2]. Новые данные в этой области будут получены гораздо скорее,чем это еще недавно считали возможным. Если сравнить результаты петрогенных исследований с результатами сейсмических наблюдений, то можно заметить, что породы, содержащие силикаты и алюмосиликаты, занимают значительно большее место в структуре планеты, чем это думали раньше. Главным образом это видно из замечательных наблюдений хорватских ученых — А. и С. Мохоровичичей, отца и сына. Они в последнее время привлекали внимание к этому факту, и их работы являются несомненным достижением в сравнении с изысканиями их предшественников.

72. Теперь можно определить некоторые существенные особенности второй концентрической области Земли, названной Э. Зюссом *симой*, которая, как ему казалось, характеризуется преобладанием атомов Si, Mg и O.

Эта область прежде всего отличается своей мощностью; она занимает многие сотни километров, может быть, превышает тысячу километров. Затем для этой области характерно, что в ней пять химических элементов — кремний, магний,

---

[1] По А. Зибергу (1923), основывающемуся на представлениях Э.Вихтера, удельный вес ядра – 9,1

[2] Текст §71-83, 103, 117, 121, 135, 147, 149, 150, 156-160, а также табл.1 на с.61. приводятся по французскому Vernadsky W. La Biospherie Felix Alcan. P. 1929.

кислород, железо и алюминий — играют очень важную роль. Увеличение количества более тяжелого элемента — железа, по-видимому, связано с глубиной.

Возможно, что породы, аналогичные основным породам земной коры, третьей области, также играют большую роль в строении области симы. Механические свойства этих пород напоминают эклогиты, по мнению некоторых ученых — геологов и геофизиков.

73. Верхнюю границу области симы представляет *земная кора,* средняя мощность которой — немного меньше 60 км — довольно точно установлена разными наблюдениями, независимыми одни от других: с одной стороны, путем изучения землетрясений, с другой стороны, путем измерения силы тяжести.

Изостатическая поверхность отделяет область симы от земной коры. Она показывает замечательную особенность области симы, в корне отличающую ее от области земной коры. Материя симы во всех концентрических слоях, которые в ней различаются, является гомогенной.

Физические и химические свойства симы концентрически меняются в зависимости от расстояния изучаемых точек от центра планеты. Что касается материи земной коры, то она в пределах одного и того же концентрического слоя на одинаковом расстоянии от центра планеты является различной.

При этих условиях не может быть сколько-нибудь значительного обмена между веществом симы и веществом земной коры.

74. Эти данные заставляют нас прежде всего оставить в стороне всякого рода представления о симе как об области планеты, богатой свободной энергией.

Энергия ее по отношению к изучаемым нами явлениям может быть только *потенциальной*, проявление которой никогда не достигало и не достигает земной поверхности. Оно не достигало ее в течение всего геологического времени — сотни миллионов лет. Мы можем принимать это положение как эмпирическое обобщение, подтверждаемое всей логической силой геологических наблюдений.

Другими словами, нет никаких данных, которые указывали бы, что сима не находится в состоянии химической индифферентности, полного и неизменного в течение всего геологического времени устойчивого равновесия.

На возможность такого ее и ядра состояния указывает, во-первых, то, что мы не знаем в изученных слоях земной коры ни одного научно установленного случая притока вещества из глубоких частей планеты, лежащих за пределами земной коры, и, во-вторых, то, что нет ни одного на ней явления, в котором бы проявлялась предполагаемая в симе свободная энергия, например возможная ее высокая температура. Проникающая из глубин на земную поверхность свободная энергия — теплота — связана не с симой, а с атомной энергией радиоактивных химических элементов, по-видимому сосредоточенных главным образом в земной коре, в верхних слоях планеты, в условиях, позволяющих проявление их энергии в форме, способной производить работу.

75. Среди тех явлений, какие мы наблюдаем на земной поверхности, распределение силы тяготения дает нам возможность проникнуть внутрь планеты глубже, чем все другие, за исключением землетрясений.

Основным для него фактом является то, что оно связано с очень своеобразным и определенным строением верхней части нашей планеты. Распределение тяжести указывает на то, что большие участки коры разного удельного веса (от 1 для воды до 3,3 для основных пород) все сосредоточены только в верхней части планеты; они размещаются на ней так, что в вертикальном разрезе легкие участки компенсируются более тяжелыми и на некоторой глубине — на *изостатической поверхности* — устанавливается полное равновесие; ниже ее слои планеты оказываются на всем протяжении каждого слоя одного и того же удельного веса.

Логическим выводом отсюда является то, что *ниже* изостатической поверхности отсутствует возможность механических нарушений и химических различий в слоях одинаковой глубины: должно существовать полное равновесие вещества и энергии.

Изостатическую поверхность ввиду этого удобно принять за нижнюю границу земной коры и за верхнюю границу симы. Она определяет очень важное свойство планеты: отделяет *область изменений* от области неизменных устойчивых равновесий.

Мы видели в первом очерке, что лик планеты — биосфера, верхняя оболочка этой области изменений, получает энергию, вызывающую в ней изменения, из космической среды, от Солнца. Мы знаем и еще увидим, что в ней есть приспособления, которые передают эту действенную солнечную энергию в глубь биосферы.

Но в земной коре есть и другой источник свободной энергии — радиоактивная материя, производящая еще более мощные нарушения ее устойчивых равновесий.

Достигают ли радиоактивные атомы симы, мы не знаем, но кажется несомненным, что количество радиоактивных веществ не может быть в ней того же порядка, как в земной коре, так как иначе тепловые свойства планеты были бы совершенно иными; по-видимому, радиоактивные вещества — источники свободной энергии нашей планеты — не идут в симу или быстро в ней сходят на нет.

76. Наши представления о физическом состоянии области симы очень неполны.

Температура этой области, по-видимому, не очень высока, и необычайное состояние, присущее ее материи, вызвано в первую очередь действием большого давления. Механические особенности этой материи, идущей до глубины по меньшей мере 2000 км, резко отличны от всех привычных нам состояний, но во многом аналогичны твердому состоянию (С. Мохоровичич, 1921). Давление на этих глубинах так велико, что оно превосходит наше воображение и разбивает наши построенные на опытных данных представления о трех состояниях вещества: твердом, жидком и газообразном. Уже у верхней границы симы, где давление достигает 20 тыс. атмосфер, перестает существовать какое бы то ни было различие между твердым, жидким и газообразным состоянием в их обычных характерных параметрах, как это следует из опытов П. В. Бриджмэна (P. W. Bridgman, 1925).

Конечно, такая материя не может иметь кристаллическое строение. Возможно, что она имеет стекловатую структуру или структуру металла под большим давлением; это наиболее удовлетворительные представления, которые могут быть о ней даны.

Слои этой области вполне однородны, гомогенны, и по мере увеличения давления они с глубиной все больше изменяются.

77. Глубина изостатической поверхности точно неизвестна. Вначале ей придавали глубину 110–120 км. Более новые исчисления дают меньшие цифры, 60 и 90 км.

По-видимому, уровень ее в разных местах весьма различен и форма ее неизменно медленно меняется под влиянием источников свободной энергии, находящейся в земной коре, того, что мы называем геологическими изменениями.

Выше изостатической поверхности лежит та область планеты, которая была названа *земной корой* в связи с давними в геологии гипотезами, указывающими, что на геологически изучаемой земной поверхности мы сталкиваемся со следами и остатками *коры застывания* когда-то жидкой планеты. Это было связано с научными космогоническими гипотезами о прошлом Земли, наиболее глубоким выражением которых явилась гипотеза П. Лапласа, получившая широкое распространение в ученой среде, одно время переоценившей ее научную ценность. Однако мало-помалу выяснилось, что нигде в доступных нам слоях мы не встречаем следов такой первичной коры застывания, что геологически нигде не сказывается гипотетическое огненно-жидкое прошлое нашей планеты. Гипотезы о первичном огненно-жидком состоянии планеты, таким образом, исчезли. Но исторически вошедший в науку термин «земная кора» сохранился, получив иной смысл.

78. В *этой земной коре* мы различаем ряд *оболочек*, концентрически в ней распределенных, хотя поверхности их разграничения в общем не являются шаровыми.

Каждая концентрическая оболочка характеризуется своими, в значительной мере независимыми и замкнутыми системами динамических равновесий — физическими и химическими. Разграничение отдельных оболочек иногда затруднительно, по-видимому, в связи с крупными пробелами наших знаний.

Более точно можем мы это делать для верхних частей твердой фазы планеты и для нижних газообразных. На глубину 16–20 км от земной поверхности, на высоту 10–20 км от нее к нам доходят или доходили химические соединения. Изучение геологического строения Земли свидетельствует о том, что не дальше указанных глубин образовались самые глубокие нам известные массивные породы. Мощность 16 км отвечает толще осадочных и метаморфических пород. Можно думать, что химический состав верхних 16– 20 км обусловлен теми же геологическими процессами, какие мы сейчас изучаем. Этот состав нам в общих чертах точно известен.

За этими пределами наши знания становятся значительно менее точными не только оттого, что мы не можем сейчас точно установить вещество, к нам оттуда доходящее, но и потому, что *состояния вещества* в этих пределах высоких и низких давлений нам, несмотря на большие успехи опытных наук, во многом неясны. Но, несомненно, здесь мы стоим на прочной почве — развитие наших знаний идет медленно, но неуклонно. Очевидно, наши старые представления о земной коре подвергаются коренному пересмотру, который только начинается.

79. С этой точки зрения необходимо отметить некоторые важные для понимания строения земной коры вырисовывающиеся явления.

Во-первых, в высоких слоях газовой оболочки планеты вещество находится в состоянии, резко отличном от того, какое мы привыкли видеть вокруг нас. Может быть, мы имеем здесь дело (выше 80–100 км) с *областью планеты, отличной от земной коры*. Здесь, в разреженной материальной среде, в форме электронов и ионов сосредоточены огромные запасы свободной энергии, значение которой в истории планеты нам неясно.

Затем представляется сейчас почти несомненным, что сплошное огненно-жидкое состояние внутренних слоев планеты, проявлением которого считали выливающиеся на земную поверхность вулканические породы, не существует. Необходимо допустить существование больших или малых участков магмы, т.е. переполненного газами вязкого жидкого горячего (600–1000°) силикатного расплава среди преобладающей *твердой* или *полутвердой вязкой* горячей оболочки. Ничто не указывает, что очаги магмы проникали всю земную кору и чтобы температура всей коры была столь же высока, как температура этих горячих, богатых газами расплавов.

80. Хотя структура глубинной части земной коры таит еще много загадок, все же успехи науки в этой области за последние годы привели к замечательным достижениям.

Земная кора, по-видимому, состоит из кислых и основных пород, которые мы наблюдаем и на поверхности. Кислые породы, граниты и гранодиориты, расположены под континентами, толщина их достигает порядка 15 км, иногда немного меньше. Основные породы господствуют на глубинах.

Под гидросферой они приближаются к земной поверхности. Эти породы беднее свободной энергией, радиоактивными химическими элементами.

Нужно принять существование по меньшей мере трех оболочек ниже земной поверхности. Одна из них, верхняя оболочка, отвечает кислым породам (гранитная оболочка). Она кончается на глубине 9–15 км ниже поверхности и относительно богата радиоактивными элементами.

Около 34 км ниже поверхности в свойствах материи обнаруживается новое большое изменение (Х. Жеффрейс, С. Мохоровичич), которое показывает, вероятно, нижнюю границу существования кристаллического состояния вещества. Это вместе с тем верхняя граница стекловатой оболочки Р. Дели (1923). Глубже лежат основные породы, частично кислые породы в состоянии, аналогичном стеклу, в котором они нам незнакомы.

Второе сильное изменение замечается на глубине в среднем около 60 км от земной поверхности; оно, вероятно, является результатом появления тяжелых пород, влияние которых сказывается на сейсмических явлениях; это, может быть, эклогиты[1], плотность которых не меньше 3,3–3,4.

Здесь мы входим в область симы; удельный вес пород все увеличивается и достигает на ее границе 4,3–4,4 (Л. Адаме, Е. Вильямсон, 1925). Эти краткие за-

[1] Конечно, судя по структуре этих образований, которая, по-видимому, не кристаллическая, это не эклогиты петрографов; они только отвечают эклогитам по их удельному весу. Эклогиты верхних частей земной коры отвечают самым глубоким частям земной коры, которые могут быть исследованы de visu.

мечания дают лишь очень общее впечатление о сложности явления.

81. Выяснение существования земных оболочек шло эмпирическим путем в течение долгого времени. Некоторые из них, например атмосфера, установлены столетия назад, и их существование вошло в обиход текущей жизни.

Но лишь в конце XIX, в начале XX столетия были уловлены основания их выделения, и до сих пор понимание их значения в строении земной коры не вошло в общее научное сознание.

Их выделение тесно связано с химией земной коры, и их существование является следствием того, что *все* химические процессы земной коры подчиняются одним и тем же механическим *законам равновесия.*

Благодаря этому в чрезвычайной сложности химической структуры земной коры все же всюду проявляются и бросаются в глаза общие черты, позволяющие различать в сложных природных явлениях — эмпирическим путем — основные их состояния и классифицировать те сложные системы динамических равновесий, которым в таком упрощенном представлении отвечают земные оболочки.

Законы равновесий в общей математической форме были выявлены Ж. Гиббсом (1884–1887), который свел их к соотношениям, могущим существовать между характеризующими химические и физические процессы независимыми переменными, каковыми являются температура, давление, физическое состояние и химический состав принимающих участие в процессах тел.

Все установленные чисто эмпирическим путем земные оболочки (геосферы) могут быть характеризованы некоторыми переменными, которые входят в равновесия, изучавшиеся Гиббсом.

Таким образом, можно различить термодинамические оболочки, определяемые величинами температуры и давления, *фазовые оболочки,* характеризуемые физическим состоянием (твердым, жидким и т.д.) входящих в их состав тел, и, наконец, *химические оболочки,* отличающиеся своим химическим составом.

В стороне осталась только оболочка, выделенная Э. Зюссом, — *биосфера.* Несомненно, все ее реакции подчиняются законам равновесий, но они заключают новый признак, новое независимое переменное, не принятое во внимание Ж. Гиббсом.

82. Обычно принимаемые во внимание независимые переменные неоднородных равновесий, изучаемых в наших химических лабораториях, — температура, давление, состояние и состав вещества — не охватывают всех их форм. Гиббс математически изучал уже электродинамические равновесия. Огромное значение имеют в природных земных равновесиях разнообразные поверхностные силы. Большое внимание обратили на себя в химии явления фотосинтеза, где независимой переменной является лучистая световая энергия. В явлениях кристаллизации мы учитываем векториальные кристаллические энергии: внутреннюю, например в двойниках, и поверхностную — во всех кристаллах.

Вводя в физико-химические процессы земной коры световую солнечную энергию, живые организмы, однако, по существу и резко отличаются от остальных независимых переменных биосферы. Подобно им, живые организмы меняют ход ее равновесий, но в отличие от них представляют особые автономные образо-

вания, как бы особые вторичные системы динамических равновесий, в первичном термодинамическом поле биосферы.

Автономность живых организмов является выражением того факта, что термодинамическое поле, им свойственное, обладает совершенно иными параметрами, чем те, которые наблюдаются в биосфере. В связи с этим организмы — многие очень резко — удерживают свою температуру в среде другой температуры, имеют свое внутреннее давление. Они обособлены в биосфере, и ее термодинамическое поле имеет для них значение только в том смысле, что определяет *область существования* этих автономных систем, но не внутреннее их поле.

С химической точки зрения их автономность резко сказывается в том, что химические соединения, в них образующиеся, обычно не могут получиться вне их в обычных условиях косной среды биосферы. Попадая в условия этой среды, они неизбежно оказываются неустойчивыми, в ней разлагаются, переходят в новые тела и этим путем являются в ней нарушителями ее равновесия, источником свободной в ней энергии.

Они получаются в живом веществе нередко в условиях, резко отличных от тех, которые мы наблюдаем в биосфере. В последней, например, никогда не может идти и никогда не наблюдается разложение молекул углекислоты и воды — один из основных биохимических процессов. На нашей планете он может идти только в глубоких областях магмосферы, вне биосферы. В наших лабораториях мы его можем производить только при высоких, не существующих в биосфере температурах. Ясно, что термодинамическое поле живого вещества резко отлично от термодинамического поля биосферы, как бы мы это отличие ни объясняли. Эмпирически живые организмы могут быть описываемы как особые, чуждые биосфере, в ней отграниченные термодинамические поля ничтожных по сравнению с ней размеров, несущие энергию солнечного луча и им в ней создаваемые. Их размеры колеблются в пределах от $n\times10^{-15}$ до $n\times10^{-12}$ см^3.

Как бы мы ни объясняли их существование и их образование в биосфере, несомненным фактом является изменение всех химических равновесий в биосфере в их присутствии, причем общие законы равновесий не нарушаются и живые существа, взятые в совокупности, т.е. живое вещество, им отвечающее, могут быть рассматриваемы как особая форма независимых переменных энергетического поля планеты.

83. Это влияние живых существ теснейшим образом связано с их питанием, дыханием, с их разрушением и умиранием, т.е. с теми процессами жизни, при которых химические элементы в них входят и из них выходят.

Эмпирически несомненно, что химические элементы, вступая в живой организм, попадают в такую среду, аналогичной которой они не находят нигде в другом месте на нашей планете.

Мы выражаем это явление, говоря, что, вступая в организмы, химические элементы попадают в новую форму *нахождения.*

Вся их история в этой форме нахождения чрезвычайно резко отличается от их истории в других частях нашей планеты. Ясно, что это отличие связано с глубоким

изменением атомных систем в живом веществе. Есть веские основания думать, что в нем химические элементы не дают смесей изотопов. Это должен решить опыт.

Одно время — многие и до сих пор — приводили в связь особенность истории химических элементов в живом веществе с огромным преобладанием в нем дисперсного состояния *соединений* элементов, их *коллоидальных систем,* но такие же коллоидальные системы наблюдаются и в других случаях в биосфере и явно не связаны с живыми организмами. По нашим современным представлениям, дисперсные системы (коллоиды) всегда связаны с *молекулами,* но не с атомами. Одного этого факта уже достаточно, чтобы искать объяснения различных форм нахождения химических элементов не в коллоидальном состоянии, так как формы нахождения как раз характеризуются состоянием атомов.

84. Понятие *формы нахождения химических элементов* было введено мною (1921) как эмпирическое обобщение. Под этим понятием я подразумеваю такие особые участки термодинамических полей нахождения атомов, в которых наблюдаются резко различные их проявления, сводимые, по нашим современным представлениям, к различным особым комплексам атомов, иным для каждой из форм их нахождения. Очевидно, что форм нахождения химических элементов может быть очень много и что далеко не все из них могут наблюдаться в термодинамических полях нашей планеты.

Так, несомненно, атомы звездных систем должны наблюдаться в особых состояниях, невозможных на Земле, и мы видим, что им придают такие особые состояния, например, для объяснения их спектров (ионизированные атомы по М. Сага) или полученных наблюдением огромных масс некоторых звезд. Для объяснения этих последних необходимо допустить сосредоточение в их кубическом сантиметре тысяч и даже десятков тысяч граммов вещества (А. Эддингтон)[1]. Эти звездные состояния атомов, очевидно, представляют формы их нахождения, отсутствующие в земной коре. Другие, у нас отсутствующие формы их нахождения могут и должны наблюдаться на Солнце, в солнечной короне (газ из электронов), в туманностях, кометах, в земном ядре...

85. Мы выделяем живые вещества как особые формы нахождений атомов чисто эмпирически, не имея пока возможности точно представить себе, какие изменения испытывают вступающие в них атомы.

Однако полное соответствие этой формы нахождения атомов в земной коре с другими, несомненно особыми формами нахождения заставляет думать, что дальнейшие исследования выявят те изменения, какие воспринимают атомные системы, входя в живое вещество.

Различные формы нахождения атомов в земной коре выделяются эмпирически.

---

[1] Так, для звезды Сириуса *B* плотность материи должна быть равно 53000. Можно думать, что если принять динамические представления Бора-Резерфорда (как известно, эти модели являются лишь приближенными к реальности), то орбиты электронов будут лежать ближе к ядру, чем это имеет место быть для обычных атомов (Ф.Тирринг, 1925). Наблюдаемое смещение красной части спектра Сириуса *B* подтверждает огромную плотность: вычисленные для тел такой плотности, на основе теории относительности смещения спектральных линий отвечают наблюдаемым (W. Adams, 1925).

Они отличаются одновременно: 1) характерным для каждой формы особым термодинамическим полем; 2) особым атомным проявлением; 3) резко отличной геохимической историей элемента и 4) определенным, часто свойственным только данной форме отношением атомов разных элементов друг к другу (их парагенезисом).

86. В *земной коре* можно отличить *четыре разные формы нахождения* химических элементов, через которые они проходят в течение хода времени и которые определяют их историю.

Эти четыре формы суть следующие: 1) *горные породы* и *минералы,* где преобладают стойкие и неподвижные *молекулы* и *кристаллы* комбинаций элементов; 2) *магмы* — вязкие смеси газов и жидкостей, находящиеся в состоянии подвижной смеси диссоциационных атомных систем, в которой *отсутствуют* и *кристаллы и молекулы* нашей химии[1] 3) *рассеяния* элементов, когда отдельные *элементы* находятся в *свободном состоянии,* отделенными друг от друга. Очень возможно, что элементы при этом являются в некоторых случаях *ионизированными* или потерявшими часть своих *электронов*[2]; это — особое состояние атомов, отвечающее лучистой материи М. Фарадея и У. Крукса; и наконец, 4) *живое вещество*, состояние атомов в котором неясно; мы обычно представляем себе эти атомы в состоянии молекул, диссоциационных систем ионов, рассеянных нахождений. Такие представления кажутся мне явно эмпирически недостаточными. Очень вероятно, что в живом организме, помимо изотопов (§ 83), играет известную, не принимаемую нами во внимание роль симметрия атомов (симметрия атомных полей).

87. Формы нахождения атомов (элементов) играют в неоднородных равновесиях ту же самую роль, как и другие независимые переменные — температура, давление, химический состав, физические состояния вещества (фазы). Подобно им, формы нахождения атомов характеризуют меняющиеся с глубиной концентрические оболочки земной коры.

К указанным (§ 81) термодинамическим фазовым и химическим оболочкам мы должны прибавить благодаря этому особые оболочки по форме нахождения химических элементов. Можно назвать их *парагенетическими оболочками,* так как в широких чертах они главным образом определяют парагенезис элементов, т.е. законы их совместного нахождения. Биосфера и является одной из таких парагенетических оболочек, наиболее нам доступной и известной.

88. Представление о строении земной коры из определенных термодинамических, химических, фазовых и парагенетических оболочек является одним из типичных *эмпирических обобщений.* Оно сейчас не имеет объяснения, т.е. не связано ни с одной теорией преобразования Земли и ни с какими моделями наших представлений о мире.

Из всего ранее сказанного несомненным, однако, представляется, что такое строение является результатом взаимодействия космических сил, с одной стороны, вещества и энергии нашей планеты — с другой, причем и характер вещества

---

[1] Одну из форм магм, а может быть, самостоятельную форму нахождения элементов представляют стекла высокой температуры и высокого давления (§ 80).

[2] Может быть, эти два состояния элементов представляют разные формы нахождения.

— количественные соотношения элементов, например, — не случайное явление и не связаны только с геологическими причинами.

Это эмпирическое обобщение, схематически представленное в таблице мы положим в основу всего дальнейшего рассмотрения.

Эта таблица, как всякое эмпирическое обобщение, должна была бы рассматриваться как первое приближение к изложению реальности, подлежащее дальнейшим изменениям и дополнениям. Ее значение тем больше, чем больше тот фактический эмпирический материал, на котором она строится.

В этом отношении значение ее очень неравномерно.

Для значительной части первой, верхней, термодинамической оболочки (и соответствующих ей, связанных с другими независимыми переменными, оболочек), а также для пятой термодинамической и ниже наши знания основаны на очень малом числе фактов и связаны с нарушающими эмпирическое обобщение конъюнктурами и экстраполяциями.

Поэтому в данной области явлений наши знания очень ненадежны и быстро меняются с ходом научного развития. Мы можем здесь ждать, в связи с ростом физических наук в ближайшие годы, больших новых достижений и изменений господствующих воззрений.

Точная граница между оболочками не может быть в большинстве случаев указана. Все указывает, что поверхности, разделяющие оболочки, меняются с ходом времени; иногда эти изменения идут быстро.

Форма их очень сложная и неустойчивая[1].

Для тех вопросов, какие затрагиваются в этих очерках, такой характер наших знаний в этих частях схемы не имеет большого значения, так как *биосфера* всецело лежит вне этих оболочек земной коры, в той части таблицы, которая основана на огромном эмпирическом материале и свободна от гипотез, угадок, конъюнктур и экстраполяций.

89. Из всех факторов, определяющих химические равновесия, температура и давление и отвечающие им термодинамические оболочки имеют особое значение. Ибо они всегда существуют для всех форм нахождения вещества, для всех его состояний и химических комбинаций. Наше построение Космоса — его модель — всегда термодинамическое. Поэтому в истории земной коры важно различать происхождение вещества и связанные с ним явления, исходящие из разных термодинамических оболочек.

Во всем дальнейшем изложении я буду называть *вадозными* явлениями тела, связанные со второй термодинамической оболочкой (поверхностной), *фреатическими* — связанные с третьей и четвертой (метаморфическими) и *ювенильными* — связанные с пятой.

Вещество из первой и шестой термодинамических оболочек не попадает в биосферу или не замечено в ней.

---

[1] Базальтическая оболочка подымается под океанами и, может быть, здесь лежит на глубине, недалекой от 10 км, для Тихого океана; она лежит глубже для Атлантического. Некоторые исследователи сильно увеличивают толщину гранитной оболочки под континентами (по Б. Гутенбергу, больше 50 км под Европой и Азией).

ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО ПЕРВОГО И ВТОГОГО ПОРЯДКА В БИОСФЕРЕ

90. Пределы биосферы обусловлены прежде всего *полем существования жизни.* Жизнь может проявляться только в определенной среде, в определенных физических и химических условиях. Это как раз та среда, которая отвечает биосфере.

Но едва ли можно сомневаться, что поле устойчивости жизни выходит за пределы этой среды. Мы даже не знаем, как далеко оно может выйти за них, так как мы не можем количественно оценивать силу *приспособляемости* организмов в течение геологического времени. Мы знаем, что приспособляемость зависит от течения времени, есть функция времени и что она проявляется в биосфере в теснейшей связи с сотнями миллионов лет ее существования. Этих миллионов лет нет в нашем распоряжении, и мы не можем их пока ничем иным заменить в наших опытах.

Все наши опыты над живыми организмами производятся над телами, которые в безмерном времени[1] приспособились к окружающим условиям — к биосфере, выработали нужные для жизни в ней вещества и их строение. Мы знаем, что эти вещества меняются в течение геологического времени, и пределы этого изменения нам неизвестны и не могут быть сейчас выведены из изучения их химического характера[2].

Основным для нас выводом является то, что жизнь в земной коре охватывает область оболочек *меньшую,* чем поле ее возможного существования, несмотря на то что изучение природы прочно утвердило и постоянно подтверждает наше убеждение, что жизнь к этим условиям *приспособилась*, что организмы в смене веков выработали разнообразные формы организации, позволяющие им существовать в биосфере.

Лучше всего мы можем выразить это наше впечатление от изучения природы — это лежащее в основе всей нашей научной работы неосознанное эмпирическое обобщение — утверждением, что *жизнь постепенно, медленно приспособляясь, захватила биосферу* и *что захват этот не закончился* (§ 112, 122). Давление жизни (§ 27, 51) сказывается в расширении границ поля жизни в поле биосферы.

Поле устойчивости жизни в связи с этим есть результат приспособляемости в ходе времени. Оно не есть что-нибудь неизменное и неподвижное: пределы его не дают нам полного представления о возможных пределах проявления жизни.

Оно, как указывает изучение палеонтологии и экологии, постепенно, медленно расширяется.

---

[1] «Безмерность» — понятие антропоцентрическое. В действительности здесь явно существуют пока не уловленные законности — определенная длительность эволюции живого вещества в биосфере (больше 2×109 лет?).

[2] Очень часто ищут пределов жизни в физических и химических свойствах составляющих организм химических соединений, например белков, которые свертываются при 60–70 . Однако при этом не принимают во внимание сложность возможных приспособлений организма. — 70 . Однако при этом не принимают во внимание сложность возможных приспособлений организма. И некоторые белки в сухом виде не меняются при 100° (М. Шеврейль).

91. Поле существования живых организмов определяется не только физико-химическими свойствами их вещества, характером и свойствами окружающей их внешней среды, приспособляемостью организма к этим условиям. Для них чрезвычайно характерны и важны условия *дыхания* и *питания,* т.е. активного выбора организмами необходимых для их жизни веществ.

Мы уже видели огромное значение газового обмена организмов — *дыхания* — в установлении их энергетического режима и общего газового режима планеты, ее биосферы. Оно же вместе с *питанием* организмов, т.е. с передвижением силой их энергии жидких и твердых веществ из окружающей среды в автономное поле организма (§ 82), определяет прежде всего и области их нахождения.

Я уже касался этого явления, когда указывал на захват солнечной энергии зелеными организмами (§ 42). Здесь мы должны остановиться на нем внимательнее.

В явлениях питания и дыхания организмов основным элементом является *источник,* откуда берут организмы нужные для их жизни вещества.

С этой точки зрения, организмы делятся на две резко различные группы: на *живое вещество первого порядка* — автотрофные организмы, которые в своем питании независимы от других организмов, и *живое вещество второго порядка* — гетеротрофные и миксотрофные организмы. Деление организмов по их питанию на три группы было введено в 1880-х годах немецким физиологом В. Пфеффером и является крупным эмпирическим обобщением, богатым разнообразными следствиями. Его значение в понимании природы более велико, чем это обычно думают.

Автотрофные организмы строят свое тело целиком из веществ косной, «мертвой» природы; все их «органические» соединения, содержащие азот, кислород, углерод, водород, составляющие главную массу их тела, берутся из минерального царства. Гетеротрофные организмы используют как пищу для жизни органические соединения, созданные другими живыми организмами. В конце концов для их существования необходима предварительная работа автотрофных организмов. В частности, их углерод и азот в значительной или в полной мере получаются из живого вещества. В миксотрофных организмах пищей — по отношению к углероду и азоту — служат соединения, созданные как живым веществом, так и химическими реакциями косной материи.

92. Несомненно, вопрос об источнике, откуда организмы получают нужные им для жизни тела, более сложен, чем это представляется с первого взгляда, но думается,что указанное В. Пфеффером деление есть коренная черта всей живой природы.

Нет ни одного организма, который бы в своем дыхании и питании не был бы связан, хотя бы отчасти, с косной материей. Выделение автотрофных организмов основано на том, что они для *всех* химических элементов независимы от живого вещества могут их все получать из окружающей их косной — неживой — среды.

Они берут нужные им для жизни элементы из определенных молекул, соединений элементов.

Но в конце концов в среде живого в биосфере огромное количество составляющих ее молекул, необходимых для жизни, является продуктом этой последней

и без нее не находились бы в косной среде. Таков, например, целиком свободный кислород — O_2 — и в огромной мере почти все газы, такие, как CO_2, NH_3, H_2S ит.д. Не меньше участие жизни в создании *природных водных растворов.* С этими водными растворами неразрывно, однако, связаны явления питания и дыхания. Эта природная вода, а не вода химически чистая необходима для жизни не меньше, чем газовый обмен.

Принимая во внимание это глубокое отражение жизни на характере химических тел косной материи, в среде которой она проявляется, мы должны ограничить независимость от нее автотрофных организмов. Нельзя делать логического заключения, очень обычного, что наблюдаемые ныне автотрофные организмы могли бы одни существовать на нашей планете. Они не только всегда зарождаются от таких же автотрофных организмов, но они получают нужные им для существования элементы из таких форм косной материи, которые бы отсутствовали, если бы жизнь организмов их уже не создала раньше.

93. Так, зеленые автотрофные организмы требуют для своего существования присутствия свободного кислорода. Этот свободный кислород создается ими самими из воды и углекислоты. Он всегда является биохимическим продуктом в косной материи биосферы.

Но, больше того, мы не можем утверждать, что только он один из необходимых для них тел всецело связан в своем существовании с жизнью.

Сейчас Ж. Боттомлеем, например, поставлен вопрос о необходимости для существования водных зеленых растений растворенных в воде сложных органических соединений — ауксономов, как он их назвал. Хотя это утверждение не может считаться вполне установленным, оно чрезвычайно вероятно, так как постепенно все больше и больше выясняется значение в картине природы тех незаметных и обычно забываемых нами примесей органических соединений, которые мы находим всегда во всякой природной воде, пресной или соленой. Все эти органические вещества, количество которых, ежесекундно существующее и создающееся в биосфере; исчисляется многими квадрильонами тонн, может быть больше, создаются жизнью, и мы не можем утверждать, что они связаны в своем происхождении только с автотрофными организмами. Напротив, мы на каждом шагу видим огромное значение богатых азотом соединений этого рода, создаваемых гетеротрофными и миксотрофными организмами, как в питании организмов, так и в создании минералов (битумы).

В картине природы мы постоянно видим даже без химического анализа проявление этих тел. Они вызывают морскую или иную *пену* природной воды, их проявлением являются тонкие цветные пленки, покрывающие непрерывно сотни тысяч, миллионы квадратных километров водных поверхностей, они дают окраску болотных, тундровых рек и озер, черных и бурых рек тропических и подтропических областей. От них не свободен ни один организм — не только тот, который живет в этих водах, но и зеленый покров суши, получающий непрерывно эти тела в дождях и росах, а главным образом в почвенных растворах.

В природных водах количество органических растворенных (частью дисперсных) тел сильно колеблется, в пределах от 10^{-6} до 10^{-2} %. В среднем оно, оче-

видно, близко к их проценту в морской волне, т.е. отвечает 10^{18}–10^{20} т. Оно, по-видимому, превышает массу живого вещества.

Представление об их значении входит медленно в научное сознание. У старых натуралистов мы часто находим понимание этого грандиозного явления, иногда в самой неожиданной для нас обстановке.

В 1870-х годах в небольшой заметке гениальный натуралист Р. Майер указал на их значение в составе целебных вод и в общей экономии природы. Изучение происхождения вадозных и фреатических минералов расширяет их роль еще глубже и значительнее, чем высказывал это Р. Майер.

94. Но биохимический генезис тех тел *косной природы,* которые необходимы для существования автотрофных организмов, не меняет огромного их отличия от организмов гетеротрофных и миксотрофных. Мы должны только более ограниченно понимать автотрофность и не выходить в наших суждениях за пределы этого ограничения.

Мы будем называть автотрофными все организмы, которые берут все нужные им для жизни химические элементы в современной биосфере из окружающей их косной материи и не требуют для построения своего тела готовых органических соединений другого организма.

Как всегда в определениях природных явлений, мы не можем охватить в кратком определении все явление целиком. Мыслимы переходы или сомнительные случаи, например, для *сапрофитов,* питающихся умершими и разложившимися организмами. Однако для сапрофитов почти всегда, а может быть, даже всегда основная пища состоит из проникающих трупы и остатки организмов живых микроскопических созданий.

Принимая понятие «автотрофного» организма ограниченным *современной* биосферой, мы тем самым исключаем возможность делать из него выводы о прошлом Земли — о возможности начала жизни на Земле в виде тех или иных из автотрофных организмов.

Ибо несомненно, что для всех существующих автотрофных организмов (§ 93) необходимо присутствие в биосфере продуктов жизни.

95. Различие между живым веществом первого и второго порядка резче всего сказывается на их нахождении в биосфере. Область нахождения живого вещества второго порядка, связанного в своем существовании, в своей пище, с автотрофными организмами, всегда шире местообитания этих последних.

Среди автотрофных организмов можно различить две резко отличные группы: с одной стороны, зеленые хлорофилльные организмы, зеленые растения, с другой — мир мельчайших, быстро размножающихся бактерий.

Мы уже видели, что зеленые хлорофилльные организмы являются главным механизмом биосферы, который улавливает солнечный луч и создает фотосинтезом химические тела, энергия которых в дальнейшем является источником действенной химической энергии биосферы, а в значительной мере — всей земной коры.

Поле существования этих зеленых автотрофных организмов прежде всего определяется областью проникновения солнечных лучей (§ 23).

Их масса очень велика по сравнению с массой остального живого вещества, может быть, близка к его половине (§ 46).

Мы видим в них приспособления, которые позволяют улавливать ничтожные по интенсивности излучения света, использовать его до конца.

Возможно, что временами были ослабления и усиления количества создаваемого ими зеленого вещества, хотя это очень часто высказываемое мнение не может еще считаться точно установленным.

Огромная масса вещества, ими захваченная, их всюдность, проникновение их всюду, куда проникает солнечный луч, часто заставляют видеть в них основную базу жизни. Допускают, что в течение геологического времени из них образовались многочисленные организмы, создающие живую материю второго порядка. И сейчас существование всего животного мира, огромного количества бесхлорофилльных растительных организмов — грибов, бактерий — целиком ими обусловлено.

Они производят в земной коре самую важную химическую работу — создают свободный кислород, разрушая при фотосинтезе такие стойкие кислородные тела, всюду находящиеся, каковыми являются вода и углекислота. Ту же работу они, несомненно, производили во все далекие геологические периоды. Явления выветривания явно указывают нам на ту же исключительную роль свободного кислорода в археозое, какую он и сейчас играет в современной биосфере. Состав продуктов выветривания, их количественные соотношения, как мы это можем установить, был и в археозое такой же, какой наблюдается сейчас. Очевидно, и источник свободного кислорода был тот же — зеленый растительный мир. Вся масса свободного кислорода была того же порядка, что мы видим и ныне. Мало могли отличаться от современных и в эту далекую, чуждую нам эпоху — сотни миллионов лет назад — и количество зеленого вещества, и энергия порождающего их солнечного луча (§ 57).

Для археозоя мы не имеем остатков зеленых организмов. Они непрерывно идут, начиная с палеозоя, и указывают на необычайно резкое развитие вплоть до нашего времени бесчисленного множества их форм, число которых в наше время, по-видимому, не меньше 200 тыс. видов, а количество всех видов, существующих и существовавших на нашей планете, — число не случайное — не может быть сейчас учтено, так как относительно небольшое число ископаемых их видов (несколько тысяч) выражает только неполноту наших знаний. Оно быстро увеличивается с каждым десятилетием, даже с каждым годом.

96. Гораздо меньшие количества живого вещества собраны в форме *автотрофных бактерий.*

В то время как существование зеленых автотрофных организмов стало ясным в конце XVIII в., в начале XIX в. и в 1840-х годах благодаря работам Ж. Буссенго, Ж. Дюма и Ю. Либиха вошло в научное сознание, существование автотрофных, не связанных с солнечным лучом, лишенных хлорофилла бактерий было открыто в конце XIX столетия С. Н. Виноградским и не оказало пока того влияния на научную мысль, какое можно было ожидать. Организмы эти играют

огромную роль в геохимической истории серы, железа, азота, углерода, но они не очень разнообразны; известно едва ли больше ста видов, и по своей массе, да и по своему значению они несравнимы с зелеными растениями.

Правда, они рассеяны всюду; мы их находим в почвах, в иле водных бассейнов, в морской воде; но нигде нет тех их количеств, которые были бы сравнимы с количеством автотрофной зелени суши, не говоря уже о зеленом планктоне Мирового океана. А между тем геохимическая энергия бактерий гораздо выше той же энергии зеленых растений, превышает ее в несколько раз, иногда в десятки и сотни раз, является максимальной для живых веществ. Правда, кинетическая геохимическая энергия, вычисленная на гектар, будет в конце концов одинакова для одноклеточных зеленых водорослей и для бактерий, но в то время как водоросли могут достигнуть наибольшего стационарного состояния в десятки дней, бактерии в благоприятных условиях достигают их в десятки раз быстрее — в 36—48 часов.

97. Наблюдений над размножением автотрофных бактерий у нас очень мало. По-видимому (Ж. Рейнке), они размножаются медленнее других бактерий; наблюдения над железными бактериями (Н. Г. Холодный) не противоречат этому утверждению. Так, эти бактерии делятся 1–2 раза в сутки (Δ= 1–2), тогда как такое деление для обычных бактерий может наблюдаться только при неблагоприятных условиях их жизни. Так, например, *Bacillus ramosus,* живущая в реках и дающая при благоприятных условиях не менее 48 поколений в сутки, дает при низких температурах всего четыре поколения (М. Уорд, 1925).

Если даже такое понижение быстроты размножения автотрофных бактерий по сравнению с другими бактериями окажется общим явлением для них всех, все же быстрота их размножения будет отвечать *наибольшей*, но не средней скорости передачи жизни зеленых одноклеточных растений. Надо было бы ждать поэтому, что их количества будут гораздо больше масс зеленых организмов и что то явление, какое мы наблюдаем в море для одноклеточных водорослей (§ 51), — их преобладание над зелеными метафитами будет существовать для бактерий по сравнению с зелеными протистами.

98. В действительности этого нет. Причина малого скопления живой материи в этой форме жизни очень аналогична причине, обусловливающей преобладание зеленых метафитов над зелеными протистами на суше (§49).

Их чрезвычайная всюдность, проникновение ими, например, всех толщ океана — далеко за пределыми тех слоев, куда проникает солнечный луч, заставляет думать, что причина относительно малых их количеств в биосфере, выявляющаяся для всех столь различных их разностей, как бактерии азотные, серные или железные, должна быть причиной не частного, а *общего характера.*

Такую причину можно видеть в совершенно особых условиях их *питания*, т.е. в условиях возможности их существования.

Все они получают нужную им для жизни энергию, *окисляя* не вполне окисленные или неокисленные соединения азота, серы, железа, марганца, углерода в их высшие степени окисления. Но нужные исходные, бедные кислородом тела — вадозные минералы этих элементов — никогда не могут быть в биосфере собраны

в достаточных количествах. *Ибо область биосферы* в общем *есть химическая область окисления,* так как она переполнена свободным кислородом — созданием зеленых организмов. В этой богатой кислородом среде устойчивыми формами, даже помимо влияния жизни, являются наиболее окисленные, богатые кислородом соединения.

В связи с этим автотрофные организмы должны *выискивать* среду своего бытия. И с этим обстоятельством связаны приспособления их организации.

Они могут — а некоторые, как азотные бактерии, по-видимому, так действуют всегда — окислять кислородные соединения, добывать нужную для жизни энергию, окисляя низшие степени окисления в высшие, но количество химических элементов, допускающих этого рода реакции, ограниченно; к тому же в избытке свободного кислорода те же богатые кислородом тела получаются помимо бактерий, так как в этой именно среде они являются устойчивой формой молекулярных структур.

99. Автотрофные бактерии находятся в состоянии непрерывного недостатка пищи, в состоянии недоедания. С этим связаны многочисленные приспособления их жизни. Так, всюду — в грязях, источниках, в морской воде, сырых почвах — мы видим своеобразные вторичные равновесия между бактериями, восстанавливающими сульфаты, и автотрофными организмами, их окисляющими.

Повторение в бесчисленных случаях, на каждом шагу, таких вторичных равновесий указывает на закономерность явления. Живое вещество выработало эти структуры благодаря огромному давлению жизни автотрофных бактерий (§ 27), не находящих для своей жизни в биосфере достаточного числа готовых, бедных кислородом соединений. Живое вещество создает их в этих случаях само в косной среде.

В океанах такие же равновесия наблюдаются между автотрофными бактериями, окисляющими азот, и раскисляющими нитраты гетеротрофными организмами. Это одно из грандиозных равновесий химии гидросферы.

Всюдность нахождения этих организмов служит проявлением их огромной геохимической энергии, быстроты передачи их жизни: отсутствие их больших скоплений где бы то ни было связано с недостатком бедных кислородом соединений в биосфере, в среде, где все время выделяется избыток свободного кислорода зелеными растениями.

Они не захватывают значительных масс живого вещества только вследствие физической невозможности это сделать благодаря отсутствию в биосфере нужных для их жизни соединений.

Между количеством вещества, захваченного автотрофными зелеными организмами и автотрофными бактериями, должны существовать определенные соотношения, обусловленные большим значением геохимической энергии преобладающих по массе организмов, создающих свободный кислород.

100. Не раз высказывались мнения, что в этих своеобразных, очень специальных организмах мы имеем представителей наиболее древних организмов, появившихся раньше зеленых растений. Еще недавно эти идеи высказывал один из круп-

ных натуралистов-мыслителей нашего времени — американец Ф. Осборн (1918). Наблюдение их роли в биосфере этому противоречит.

Тесная связь существования этих организмов с присутствием свободного кислорода указывает на их зависимость от зеленых организмов — от солнечной лучистой энергии — в не меньшей степени, чем зависят от нее животные и бесхлорофилльные растения, питающиеся веществами, приготовленными зелеными растениями. Ибо в природе — в биосфере — весь свободный кислород, пища этих тел, есть продукт зеленых растений.

На то же —вторичное — значение этих организмов по сравнению с зелеными растениями указывает и характер их функций в общей экономии живой природы.

Значение их огромно в биогеохимической истории и серы и азота — двух элементов, столь необходимых для построения главного вещества протоплазмы — белковых молекул. Однако, если бы деятельность этих автотрофных организмов прекратилась, жизнь, может быть, уменьшилась бы количественно, но осталась бы мощным механизмом биосферы, так как те же вадозные соединения — нитраты, сульфаты и газообразные формы переноса в биосфере азота и серы, аммиак и сероводород, постоянно создаются в ней в значительных количествах помимо жизни.

Не предрешая вопроса об автотрофности (§94) и начале жизни на Земле, можно сказать, что зависимость автотрофных бактерий от зеленых организмов, их вторичное по сравнению с ними образование, по крайней мере, очень вероятны.

Все указывает на то, что в этих автотрофных организмах мы имеем формы кизни, увеличивающие использование до конца энергии солнечного луча, наблюдаем улучшение механизма «солнечный луч — зеленый организм», а не независимую от космических излучений форму земной жизни.

Таким же проявлением того же процесса является весь бесчисленный в своих формах гетеротрофный мир животных и грибов — миллионы видов организмов.

101. Это ярко сказывается и в характере распределения живого в биосфере, в области жизни.

Она целиком определяется полем устойчивости зеленой растительности, *другими словами — областью планеты, пронизанной солнечным светом.*

Главная масса живого вещества сосредоточена в этой охваченной солнечным светом части планеты; при этом сгущения жизни тем больше, чем ярче это освещение.

Здесь же собраны гетеротрофные организмы и автотрофные бактерии, так как в своем существовании они тесно связаны или с продуктами жизни зеленых организмов (свободный кислород прежде всего), или с создаваемыми ими сложными органическими соединениями.

Из этой освещенной Солнцем части в области биосферы, лишенные солнечных лучей и зеленой жизни, проникают гетеротрофные организмы и автотрофные бактерии. Многие из них живут исключительно в этих темных областях биосферы. Обычно полагают, что эти организмы проникли сюда из освещенной Солнцем земной поверхности, постепенно приспособившись к новым условиям жизни.

Можно это думать, так как морфологическое изучение животного мира земных пещер и морских глубин указывает, очень часто с несомненностью, что фауна эта произошла от предков, живших в освещенных областях планеты.

Особое значение с геохимической точки зрения приобретают скопления — концентрации — жизни, свободной от зеленых организмов: *донная живая пленка* гидросферы (§ 130), нижние части *прибрежных сгущений жизни Океана*, донные живые пленки водных бассейнов суши (§ 156). Мы увидим их огромное значение в химической истории планеты. Можно убедиться, что их существование теснейшим образом связано, прямо или косвенно, с организмами зеленых областей жизни. Не только морфологически можно во многих случаях установить, а в других научно допустить генезис этих организмов путем палеонтологической эволюции этих организмов освещенных частей планеты, но и в основе их каждодневного бытия лежит лучистая энергия Солнца.

Само существование этих донных пленок теснейшим образом связано с остатками организмов верхних частей Океана, падающих на дно и не успевающих на пути разложиться или быть съеденными другими организмами. Конечный источник ее энергии, таким образом, следует искать в освещенной части планеты, в солнечном свете. Из атмосферы проникает в морскую воду, в темные глубины, свободный кислород, иного, кроме биохимического, происхождения, создание которого работой зеленых организмов на нашей планете мы не знаем. Анаэробные организмы, характерные для нижних частей донной пленки, все теснейшим образом зависят в своей жизни от аэробных организмов и их остатков, которыми они питаются.

Все указывает, что эти проявления жизни в лишенных света областях планеты родятся в непрерывном развитии — площадь их увеличивается.

По-видимому, в течение геологического времени шло — и сейчас медленно идет — постоянное новое проникновение живого вещества в обе стороны от зеленого покрова, все дальше и дальше в азойные части планеты.

Мы живем сейчас в этой стадии медленного расширения области жизни.

102. Может быть, одним из проявлений этого расширения жизни является биохимическое создание новых форм лучистой энергии гетеротрофным живым веществом.

В морских глубинах усиливается *свечение* организмов, излучение ими световых волн той же длины, которые в космических излияниях Солнца на земную поверхность дают энергию жизни и через нее — химическим изменениям планеты.

Мы знаем, что проявление этих вторичных световых излучений — свечение поверхности моря, непрерывно происходящее на нашей планете и охватывающее одновременно сотни тысяч квадратных километров его поверхности, — позволяет зеленым организмам планктона производить свою химическую работу и в те часы, когда до них не доходит лучистая энергия центрального светила.

Является ли новым проявлением того же механизма и свечение морских глубин? Есть ли здесь усиление жизни благодаря переносу вглубь на километры от поверхности космической энергии Солнца, которая к ним без этого не доходит?

Мы этого не знаем. Но нельзя забывать факта, что глубоководные экспедиции встречали живые зеленые организмы на глубинах, значительно превышающих область проникновения в море солнечных излучений сверху; например, «Вальдивия» встретила живую водоросль *Halionella* в Тихом океане на глубине около 2 км.

Если бы оказалось, что живое вещество способно переносить в новые области лучистую энергию Солнца не только в форме неустойчивых к термодинамической оболочке, которой отвечает биосфера (§ 82), химических соединений, т.е. в форме химической энергии, но и в виде вторично созданной лучистой же энергии, то все же в истории биосферы это явилось бы лишь, пока может быть, небольшим расширением главной области фотосинтеза, как незначительным ее расширением является создание световой энергии человечеством.

Несомненно, и эта новая в биосфере, создаваемая человеком лучистая энергия используется зеленым живым веществом, но пока в общем космическом фотосинтезе планеты она отражается ничтожными долями.

В конце концов зеленое живое вещество, определяющее на Земле область существования всего живого, — все связано с солнечным светом.

Во всем нашем дальнейшем изложении мы будем выделять эту часть живого вещества первого порядка и относить к нему все другие проявления жизни.

ПРЕДЕЛЫ ЖИЗНИ

103. Поле устойчивости жизни далеко, как мы увидим, превышает поле биосферы, определяемое характеризующими ее независимыми переменными, принимаемыми во внимание при изучении могущих иметь в ней место физико-химических равновесий.

Поле устойчивости жизни определяет область, в которой жизнь может достигнуть полного развития. Оно, по-видимому, подвижно и не имеет строгих границ.

Характерным свойством живого вещества является его изменчивость, его способность приспособляться к условиям внешней среды. Благодаря этой способности живые организмы могут в течение даже немногих поколений приспособиться к жизни при таких условиях, которые для прежних поколений были бы гибельны.

В настоящее время нет возможности подтвердить эту способность к изменчивости при помощи эксперимента, так как мы не располагаем геологическим временем, нужным для ее проявления. Живое вещество, совокупность живых организмов, резко отличается от косного вещества: это — подвижное равновесие, которое оказывает давление на окружающую среду, но связь воздействия этого давления с продолжительностью времени неясна.

Такое поле устойчивости жизни, связанное с изменчивостью организмов, является к тому же *гетерогенным,* т.е. неоднородным. Оно резко делится на два поля: *гравитационное поле,* поле более крупных организмов, и *поле молекулярных сил,* к которому относятся мельчайшие организмы, меньше 10^{-4} степени в диа-

метре, микробы, ультрамикробы и т.п., жизнь которых, и в особенности движения, определяется не тяготением, а излучениями, как световыми, так и другими.

Протяженность каждого из этих полей определяется изменчивостью организмов, их приспособляемостью; и то, и другое еще недостаточно изучены.

Мы будем принимать, таким образом, во внимание: 1) температуру, 2) давление, 3) фазу среды, 4) химизм среды, 5) лучистую энергию. Это важнейшие признаки, характеризующие оба поля устойчивости жизни.

104. Мы должны при этом различать условия, которые выдерживает жизнь, не прекращая всех своих функций, т.е. те, при которых организм хотя и страдает, но выживает, и, во-вторых, условия, при которых организм может давать потомство, т.е. увеличивать живую массу — увеличивать действенную энергию планеты.

Может быть, ввиду генетической связи всего живого вещества эти условия близки для всех организмов. Но область эта значительно уже для зеленого растительного покрова, чем для гетеротрофных организмов.

Предел ее определяется в конце концов физико-химическими свойствами *соединений,* строящих организм, их неразрушимостью в определенных условиях среды. Но есть ряд случаев, которые указывают, что *раньше* разрушения соединений разрушаются те механизмы, которые они составляют и которые определяют функции жизни.

И сами соединения, и построенные ими механизмы непрерывно меняются в ходе геологического времени, приспособляясь к изменению среды жизни.

Максимальное поле жизни может определяться крайними примерами выживания каких-нибудь организмов.

105. Самая высокая температура, которая выдерживается без смерти организма некоторыми гетеротрофными существами, особенно в латентной форме их бытия, например спорами грибов, приближается к 140°. Она меняется в зависимости от того, наблюдается ли организм в сухой или во влажной среде.

Опыты Л. Пастера над произвольным зарождением выяснили, что нагревание во влажной среде до 120° не убивает всех спор микробов. В сухой среде надо нагреть до 180° (M. Duclaux)[1]. В опытах М. Христена споры почвенных бактерий выдерживали нагревание, не теряя жизни, до 130° в течение пяти минут, до 140° в течение минуты. Споры одной бактерии, описанной М. Цеттновым, выдерживали текучий пар в течение суток (В. Л. Омелянский).

Еще дальше идет устойчивость при низкой температуре. Опыты в Дженнеровском институте в Лондоне указали на устойчивость (в жидком водороде) спор бактерий в течение 20 часов при –252°. С. Макфайден указал, что микроорганизмы сохранились без потери жизни в жидком воздухе в течение многих месяцев при –200°. По Опытам П. Беккереля, споры плесневых грибков в безвоздушном пространстве не теряли жизнеспособности в течение трех суток при –253°.

---

[1] Это впечатление сотрудников от знаменитого спора Л. Пастера и Г. Пуше имеет, мне кажется, большее значение для определения максимальной температуры теплового поля жизни, чем опыты над чистыми культурами. Оно основано на изучении свойств сенных настоев, которые ближе к сложной среде жизни в земной коре, чем наши чистые культуры.

Таким образом, надо считать, что *интервал в 433 градуса является сейчас предельным тепловым полем,* в котором в течение некоторого времени могут находиться без гибели и разрушения некоторые формы жизни. Он резко сокращается для зеленой растительности. Мы не имеем для нее вполне точных опытов, но едва ли он превышает 160–150° (от 80° до –60°).

106. Пределы давления — динамического поля жизни, по-видимому, идут очень далеко. Опыты Г. В. Хлопина и Г. Таманна указали, что плесневые грибы, бактерии, дрожжи выдерживают давление до 3 тыс. атмосфер без всякого видимого изменения своих свойств. Жизнь дрожжей сохраняется при 8 тыс. атмосфер давления. С другой стороны, несомненно, что латентные формы жизни — семена или споры — могут сохраняться длительное время в «безвоздушном пространстве», т.е. при давлениях, равных тысячным долям атмосферы.

По-видимому, нет разницы между гетеротрофными и зелеными (споры, семена) организмами.

107. Огромное значение волн определенной длины *лучистой энергии* для зеленых растений было уже многократно указано. Оно лежит в основе всего строения биосферы.

Зеленые организмы более или менее быстро умирают в отсутствие этих излучений. Гетеротрофные организмы и автотрофные бактерии — некоторые из них по крайней мере — могут жить в темноте. Но характер лучистой среды этой «темноты» (длинных инфракрасных волн) не изучен.

Нам известен, с другой стороны, предел всякой жизни в области *коротких волн.*

Среда, в которой распространяются ультрафиолетовые лучи с очень короткой длиной волны, меньше 0,3 mμ, неизбежно является безжизненной. Опыты М. Беккереля показали, что эти лучи с чрезвычайно быстрым колебанием составляющих их волн убивают в течение короткого промежутка времени все формы жизни. Среда, в которой они находятся, какой является междупланетное пространство, непроходима для всех форм жизни, приспособившихся к биосфере, хотя ни температура, ни давление, ни химический ее характер не препятствуют нахождению жизни в ней.

При той связи, какая, как мы видим, существует между развитием жизни в биосфере и солнечной радиацией, возможно точное и детальное изучение пределов жизни в разных областях лучистой энергии заслуживает самого большого внимания.

108. Огромна область химических изменений, которые выдерживает жизнь.

Открытие Л. Пастером анаэробных организмов указало на существование жизни в среде, лишенной свободного кислорода, и чрезвычайно расширило допускавшиеся ранее ее пределы.

Установление С. Н. Виноградским автотрофных организмов выяснило возможность существования жизни в отсутствие готовых органических соединений, в чисто минеральной среде.

Споры и зерна, латентные формы жизни, могут находиться без всякого вреда, по-видимому, неопределенное время в среде, лишенной газов и вполне сухой, лишенной воды.

В то же время в пределах термодинамического поля существования жизни разные ее формы могут находиться без вреда в самых разнообразных химических средах. *Bacillus boracicola,* живущая в горячих борных источниках Тосканы, может жить в насыщенном растворе борной кислоты; она свободно выдерживает 10%-ный раствор серной кислоты при обычной температуре (M. Bargagli Petrucci,1914). Известен целый ряд организмов, главным образом плесневых грибов, которые живут в крепких растворах различных солей, гибельных для других организмов. Есть грибки, живущие *в насыщенных* растворах купороса, селитры, ниобата калия. Та же *Bacillus boracicola* выдерживает 0,3%-ный раствор сулемы, а другие бактерии и инфузории живут даже в ее концентрированных растворах (А. М. Безредка, 1925); дрожжи живут в растворах фтористого натрия. Личинки некоторых мух выживают в 10 %-ном растворе формалина. Существуют бактерии, которые размножаются в атмосфере свободного кислорода.

Область этих явлений относительно мало изучена, но приспособляемость форм жизни кажется здесь беспредельной.

Однако это верно лишь для гетеротрофных организмов. Развитие зеленых организмов требует присутствия свободного кислорода (хотя бы растворенного в воде). Крепкие соляные рассолы уже не дают возможности развития этих форм жизни.

109. Хотя некоторые формы жизни, в латентном ее состоянии, могут находиться без гибели в среде, лишенной воды, абсолютно сухой, *вода* в капельно-жидком и газообразном состоянии является необходимым условием для роста и размножения организмов, для их проявления в биосфере.

Геохимическая энергия организмов в форме их размножения переходит из потенциальной формы в свободную только в присутствии воды, содержащей в растворе нужные для дыхания организмов газы.

Значение воды, ярко бросающееся в глаза для зеленой растительности, давно вошло в общее сознание. Основа всего живого — зеленая жизнь без воды не существует.

Но в последнее время можно было пойти дальше в выяснении механизма действия воды. Выяснилось значение для жизни кислой или щелочной реакции водных растворов, в которых живут организмы, степени и характера их *ионизации.*

Значение этих явлений огромно, так как в природной воде сосредоточена в биосфере главная масса (по всему) живого вещества и условия жизни всех организмов теснейшим образом связаны с природными водными растворами. Все организмы состоят в подавляющей массе своего вещества из водных растворов или водных золей[1]. Протоплазма может быть рассматриваема как водный золь, в котором происходят коллоидальные сгущения и изменения. Везде в жидкостях организма идут явления ионизации, и при непрерывном взаимодействии между природными водными растворами и между жидкостями живущих в них организмов соотношения ионизации обеих сред имеют огромное значение.

---

[1] Организмы содержат по весу от 60 до 99 % воды (может быть, даже больше), т.е. составлены, вероятно, на 80 — 100 % из водных растворов и водных золей.

Благодаря тонким приемам исследования мы можем количественно следить с очень большой точностью за изменением ионизации и этим путем имеем превосходное средство для изучения изменения главной среды, где сосредоточена жизнь.

Морская вода содержит около 10^{-9} % ионов H^+, она слабощелочная, и это небольшое преобладание положительных ионов H^+ над отрицательными ионами OH^- сохраняется в общем неизменно, постоянно восстанавливается, несмотря на бесчисленные химические процессы, идущие в море (ионизация pH = 8).

Эта ионизация очень благоприятна для жизни морских организмов, причем небольшие колебания отражаются благоприятно или неблагоприятно, различно для разных организмов.

Выяснено, что жизнь может существовать только в известных пределах ионизации, от 10^{-6} % H^+ до 10^{-10} % H^+. За этими пределами никакая жизнь в водных растворах невозможна.

110. Несомненно, фаза среды имеет огромное значение для проявления жизни.

Сохраняться в латентном состоянии жизнь, по-видимому, может в среде всякой фазы — жидкой, твердой, газообразной, в «безвоздушном» пространстве. По крайней мере, опыты показывают, что семена могут сохраняться некоторое время без газового обмена, следовательно, в любой фазе в пределах теплового поля жизни. Но живой организм в полном развитии своих функций неизбежно связан в своем существовании с возможностью газового обмена (дыхание) и устойчивости коллоидных систем, из котбрых он построен.

Поэтому организмы могут встречаться только в той среде, где этот обмен возможен: в жидкой, коллоидальной, газообразной. В твердой среде они могут наблюдаться и действительно наблюдаются только в среде рыхлой и пористой, дающей возможность газового обмена. Ввиду малого размера многих организмов твердые среды, весьма плотные, могут являться субстратом жизни.

Но жидкая — раствор или коллоид — лишенная газов среда не может являться областью жизни.

Мы видим здесь опять проявление того исключительного значения газообразного состояния материи, с которым мы не раз сталкивались в этих очерках.

ГРАНИЦЫ ЖИВОГО В БИОСФЕРЕ

111. Из предыдущего ясно, что биосфера по своему строению, составу, физическим условиям среды целиком входит в область жизни.

Жизнь приспособилась к ее условиям, и в ней нет места, где бы она так или иначе не могла в ней проявиться.

Это безусловно верно, если мы будем принимать обычные, нормальные условия биосферы, а не те временные, мимолетные их нарушения, которые являются губительными для жизни, но не могут считаться для нее характерными. В условиях биосферы недоступны для жизни кратеры вулканов во время извержений и не застывшие еще с поверхности лавы.

Это в ее существовании ничтожные и временные частности.

Такими же временными явлениями должны считаться сопровождающие вулканические процессы выходы ядовитых для жизни газов (например, хлористого или фтористого водорода) или горячие вулканические минеральные источники, лишенные жизни.

Длительные явления, например термы с температурой до 90°, уже оказываются захваченными отвечающими им своеобразными, приспособившимися к этим условиям организмами.

Неясно, не могут ли быть безжизненны земные рассолы, т.е. растворы, содержащие более *5 %* солей. Самое большое скопление такой безжизненной соленой воды указывается в Мертвом море в Палестине. Но источники-рассолы, еще более богатые солями, чем оно, богаты жизнью. Ее отсутствие в Мертвом море объясняют богатством его бромом, но это гипотеза — догадка, не опирающаяся на опыты. Может быть, наше представление о Мертвом море обусловлено неполнотой наших знаний — неизученностью его микрофауны, частью бактериальной.

Несомненно, что некоторые из кислых серных или соляных природных вод, ионизация которых меньше 10^{-11} % H^+, должны быть безжизненны (§ 109). Они образуют в общем ничтожные водоемы.

112. В общем можно считать, что земная оболочка, в которой наблюдается живое вещество, всецело отвечает полю существования жизни. Это оболочка непрерывная, подобно атмосфере, и этим она отличается от таких непрерывных оболочек, какой является гидросфера.

Но земное поле устойчивости жизни далеко не целиком занято живым веществом. Мы наблюдаем медленное движение жизни в новые области, завоевание ею этого поля в течение геологического времени.

В земном поле устойчивости жизни надо отличить, во-первых, область временного проникновения — без быстрой гибели — живых организмов; во-вторых, область длительного их существования, неизбежно связанного с проявлением размножения.

Крайние пределы жизни в биосфере должны определяться существованием в ней условий, непреодолимых для всех организмов.

Для этого достаточно, чтобы даже одно какое-нибудь условие (независимое переменное, переменное равновесие) достигло величины, непреодолимой для живого вещества, будь то температура, химический состав или ионизация среды, длина волн излучений.

Нельзя не отметить, что такие определения не могут иметь безусловного характера. То, что мы называем приспособляемостью организма, его умением защищаться от вредных условий среды, огромно, и пределы его нам неизвестны, особенно если мы примем во внимание время.

Устанавливая эти пределы на основании нами сейчас наблюдаемых возможностей выживания, мы неизбежно всегда логически вступаем в область экстраполяции, всегда область скользкую и неверную.

В частности, человек, одаренный разумом и умело направляемой волей, может достигать непосредственно или посредственно областей, недоступных для остального живого.

При единстве всего живого, которое, как мы видим, бросается в глаза на каждом шагу при охвате жизни как планетного явления, такое свойство *Homo sapiens* не может быть рассматриваемо как случайное явление.

Его существование еще больше заставляет относиться осторожно к незыблемости в биосфере границ жизни.

113. Такое определение пределов жизни, основанное на возможности нахождения и существования организмов в их современных формах и амплитудах приспособляемости, ясно указывает хара'ктер биосферы как *оболочки,* ибо исключающие жизнь условия проявляются на всей поверхности планеты одновременно.

Достаточно поэтому определить только *верхний* и *нижний* пределы поля жизни.

Верхний предел обусловливается *лучистой энергией*, присутствие которой исключает жизнь.

Нижний предел связан с достижением высокой температуры, ставящей предел жизни с не меньшей необходимостью.

В пределах, этим путем установленных, жизнь охватывает — не целиком, правда, — одну термодинамическую оболочку, три химических и три фазовых (§88).

Значение этих последних — тропосферы, гидросферы и верхней части литосферы — наиболее ярко сказывается в ее явлениях, и их мы положим в основу нашего изложения.

114. Жизнь, по-видимому, ни в каких своих современных известных формах не может зайти за пределы *стратосферы,* по крайней мере верхних ее частей.

Как видно из таблицы (§ 88), здесь начинается другая парагенетическая оболочка, где едва ли существуют какие бы то ни было химические молекулы или еще более Сложные их комплексы.

Это область высочайшего разрежения материи, даже если принимать новые исчисления проф. В. Г. Фесенкова (1923–1924), дающие для нее большие количества материи, чем это принимали раньше. Проф. В. Г. Фесенков полагает, что на высоте 150 — 200 км стратосфера заключает тонну вещества в 1 км^3 [1]. Новые условия нахождения атомов этой разреженной материи не являются только следствием ее разрежения — уменьшения столкновения газовых частиц, удлинения их свободных траекторий. Они связаны с могучим действием ультрафиолетовых и, может быть, других лучей Солнца (а может быть, и космических пространств), беспрепятственно достигающих этих крайних пределов нашей планеты (§ 8).

Мы знаем, что ультрафиолетовые лучи являются чрезвычайно активными химическими деятелями. В частности, лучи очень коротких волн, меньше 200 *m/u* (160–180 щи), уничтожают всякую жизнь, самые устойчивые споры в сухой и

[1] Другие исчисления дают числа в тысячу и больше раз меньше: тонну — на 100 км , килограмм — на 200 км .

безвоздушной среде. По-видимому, несомненно, что данные лучи освещают эти далекие области планеты.

115. Ниже они не проходят, так как совершенно поглощаются *озоном,* образующимся постоянно в стратосфере в относительно значительных количествах из свободного кислорода и, может быть, воды под влиянием тех же ультрафиолетовых излучений Солнца, которые он задерживает и которые губительны для жизни.

Озон стратосферы образовал бы, по С. Фабри и Г. Бюссону, слой в 5 мм мощностью, если он был бы собран весь в чистом виде. Но и в рассеянных атомах эти количества озона достаточны, чтобы не пропустить всех вредных для жизни излучений.

Сколько бы ни разрушался озон, он постоянно восстанавливается, так как лучи колебаний короче 200 mμ встречают все время в стратосфере, в нижних ее слоях, избыточное количество атомов кислорода.

Жизнь защищена в своем существовании *экраном озона* в 5 мм мощностью, являющимся естественной верхней границей биосферы.

Характерно, что необходимый для создания озона свободный кислород образуется в биосфере только биохимическим путем; он должен исчезнуть из нее при прекращении жизни. *Жизнь, создавая в земной коре свободный кислород, тем самым создает озон и предохраняет биосферу от губительных коротких излучений небесных светил.*

Ясно, что новейшее проявление жизни — культурный человек может предохранить себя иначе и проникнуть безнаказанно за озонный экран.

116. Озонный экран определяет только верхнюю границу *возможной* жизни.

В действительности она прекращается в атмосфере гораздо ниже.

Зеленые автотрофные растения не подымаются над зеленым древесным и травяным покровом суши. Нет зеленых клеток, развивающихся в воздушной среде. Случайно и невысоко, в брызгах океана, подымаются зеленые клетки планктона.

Выше древесной растительности организмы могут попадать или механически, или благодаря выработанным приспособлениям летания. Чрезвычайно редко этим путем могут далеко и надолго проникать в атмосферу зеленые организмы.

Мельчайшие споры, например хвойных или тайнобрачных, лишены хлорофилла или бедны им, а это, вероятно, величайшие массы зеленых организмов, разносимые ветром и поднимающиеся иногда ненадолго на довольно значительную высоту.

Главная масса живого вещества, проникающего в атмосферу, состоит из живой материи второго порядка. К ней принадлежат все летающие организмы. Зеленый слой нашей планеты, где начинается превращение солнечных радиаций в земную химическую энергию, расположен на поверхности суши и в верхнем слое океана; он не подымается далеко в атмосферу.

В геологическое время, однако, он расширил в ней область своего нахождения. Ибо в стремлении уловить наибольшее количество солнечной энергии зеленый растительный организм проник далеко в нижние слои тропосферы; он поднялся на десятки, более — сотни метров от ее поверхности в форме высоких

деревьев и в их скоплениях в лесных массивах. Эти формы жизни выработаны организмами, по-видимому, в палеозое.

117. Жизнь проникает в атмосферу и долго в ней держится главным образом в виде мельчайших бактерий и спор, в летающих формах животных.

Относительные ее концентрации, главным образом в виде латентных форм (спор микроскопических организмов), могут наблюдаться только в «пылевой атмосфере», т.е. в тех частях воздушного покрова, куда проникает пыль с земной поверхности. Пылевая атмосфера связана главным образом с сушей. Эта пылевая атмосфера, по А. Клоссовскому (1910), достигает 5 км, а по О. Менгелю (Mengel, 1922), значительные скопления пыли не подымаются выше 2,8 км. Главная часть пыли, однако, косная материя.

На горных вершинах воздух очень беден организмами, все же они там существуют. По определению Л. Пастера, в среднем здесь находится не больше 4-5 микробов, патогенных, открываемых питательными жидкостями, в 1 $м^3$. М. Флемминг в воздухе на высоте 4 км обнаружил в среднем не более одного патогенного микроба на 3 л. По-видимому, в верхних слоях микрофлора воздуха обедняется бактериями и обогащается плесневыми и дрожжевыми грибками (В. Л. Омелянский).

Не может быть сомнения, что эта микрофлора проникает за средние пределы пылевой атмосферы (5 км), но число точных наблюдений здесь, к сожалению, ничтожно. Она может достигать пределов тропосферы (9 — 13 км), так как сюда достигают наблюдаемые нами на поверхности Земли движения газов — ветры и токи воздуха.

Едва ли эти высокие поднятия над поверхностью Земли имеют какое-нибудь значение в ее истории, так как огромное большинство этих организмов находится в латентном состоянии и они едва заметны в массе, хотя и разреженной, косного газа, среди которого они рассеяны.

118. Неясно, заходят ли за пределы тропосферы животные. Правда, они подымаются иногда на большие расстояния, выше высочайших горных вершин (всегда лежащих еще в пределах тропосферы), т.е. доходят до ее верхней границы.

Так, по наблюдениям А. Гумбольдта, кондор в своем полете подымается до 7 км от земной поверхности; он наблюдал мух на вершине Чимборасо (5882 м).

Эти наблюдения А. Гумбольдта и некоторых старых натуралистов отрицались современными орнитологами, изучавшими на проходных станциях перелеты птиц, но новейшие наблюдения Уолластона (1923), натуралиста английской экспедиции на Эверест, не оставляют сомнений, что некоторые горные хищники подымаются или парят около вершин высочайших гор, выше 7 км (7540 м).

По-видимому, это немногие, отдельные виды птиц. Вдали от горных вершин и даже в горных областях птицы едва ли долетают до 5 км. Наблюдения летчиков указывают поднятия до 3 км (для орла).

Бабочки наблюдались на высоте 6,4 км, пауки — до 6,7 км, тли — до 8,2 км, из растений *Arenaria muscosa* и *Delphinium glaciale* — на высоте 6,2–6,3 км (M. Hingston, 1925).

119. Дальше всех проникает в стратосферу человек, и он несет с собой вполне бессознательно и неизбежно следующие за ним, в нем и на нем самом или в его изделиях формы жизни.

Область проникновения человека все расширяется с развитием воздухоплавания, и пределы ее выходят уже из области жизни, определяемой озоновым покровом.

Выше всего подымаются шары-зонды, всегда заключающие в своем материале представителей жизни. 17 декабря 1913 г. такой шар-зонд, пущенный в Павии, достиг высоты 37,7 км.

Сам человек в своих аппаратах подымается выше высочайших гор. Уже в воздушных шарах Г. Тиссандье (1875) и Ж. Глэшер (1868) почти достигли этого предела, первый достиг 8,6 км, второй — 8,83 км.

С развитием аэропланов высота поднятия достигла пределов стратосферы. Француз М. Каллизо и американец М. Мак-Реди (1925) достигли 12 —12,1 км, и, очевидно, эта высота быстро будет превзойдена. Постоянные поселения человека, его деревни встречаются на высоте 5,1 — 5,2 км (Перу, Тибет), его железные дороги — на высоте 4,77 км (Перу), его возделанные поля — на высоте 4,65 км.

120. Подводя итоги, можно утверждать, что жизнь, проявляющаяся в биосфере, достигает своего земного предела — озонового экрана — только для редких, отдельных своих неделимых. В главной своей массе не только стратосфера, но и верхние слои тропосферы безжизненны.

Нет ни одного организма, который всегда бы жил в воздушной среде. И *лишь тонкий слой атмосферы, исчисляемый десятками метров,* обычно много меньше ста метров, может считаться переполненным жизнью.

Едва ли можно сомневаться, что и это завоевание воздушной среды есть новое явление в геологической истории планеты: оно стало возможным только с развитием сухопутных организмов, сперва растений (в докембрии?), затем насекомых, летающих позвоночных (в палеозое?), с мезозоя — птиц. С самых древних периодов есть указания на механические переносы микрофлоры и спор. Но лишь с появлением культурного человечества живое вещество сделало крупный шаг к завоеванию всей атмосферы.

Атмосфера не является самостоятельной областью жизни. Ее тонкие нижние слои составляют с биологической точки зрения части прилегающих к ним слоев гидросферы и литосферы, причем только в этой последней они входят в сгущения — пленки — жизни (§ 150).

Огромное влияние живого вещества на историю атмосферы связано не с непосредственным его нахождением в газовой среде, но с газовым его обменом — с созданием им новых газов, выделяемых в атмосферу, и с их поглощением из атмосферы (ср. §42 и 65).

Живое вещество влияет на химию атмосферы, меняя тонкий, прилегающий к Земле слой газа или газы, растворенные в природных водах.

Конечный грандиозный результат — охват всей газовой оболочки планеты энергией жизни, повсеместное проникновение газообразных продуктов жиз-

ни (прежде всего свободного кислорода) — является, по существу, следствием свойств газообразного вещества, а не свойств живого вещества.

121. Теоретически не менее резкой и ясной, чем верхняя, определяемая озоновым экраном, должна быть и нижняя граница жизни на Земле.

Она должна соответствовать той высокой температуре, при которой организм ни в каком случае не может существовать и развиваться, в зависимости от свойств соединений, из которых он составлен.

Температура в 100° уже, несомненно, представляет такую преграду. Это температура, которая достигается на глубине 3–3,5 км от земной поверхности, может быть, местами даже меньшей, около 2,5 км. *В среднем можно считать, что глубже 3 км от земной поверхности живые существа в их современном виде существовать не могут.*

Ниже уровня моря слой в 100° опускается, так как средняя глубина океана достигает 3,8 км, причем температура дна близка к 0°. Очевидно, в этих точках земной коры предельная для жизни температура не будет встречена в среднем раньше 6,5 –7 км, если земной градиент будет одинаков. В действительности повышение температуры идет здесь быстрее, и едва ли возможный для жизни слой превысит 6 км, считая с уровня океана.

Несомненно, предел в 100° есть чисто условная граница. На земной поверхности нам известны организмы, размножающиеся при температурах выше 70–80°, но и здесь организмы, приспособившиеся к длительной жизни при 100°, не встречены.

Таким образом, нижняя граница биосферы в самом крайнем пределе в среднем едва ли превысит 2,5–2,7 км на суше и 5–5,5 км в области океанов.

По-видимому, эта граница должна определяться *температурой*, а не химическим составом, так как отсутствие свободного кислорода не может служить препятствием для жизни. Свободный кислород на суше кончается много раньше, едва ли в среднем идет на несколько сот метров от земной поверхности: здесь глубже 500 м в среднем не могут жить иные организмы, кроме анаэробных бактерий.

122. Но высокая температура глубоких слоев составляет лишь теоретический предел биосферы, так как другие факторы в своей совокупности влияют гораздо более могущественно на распространение жизни.

К тому же, как указывалось (§ 101), области планеты, лишенные света, захватываются геологически более молодыми организмами, и этот захват далеко не достиг своего предела.

Мы наблюдаем здесь такое же явление, как указано было и для верхней границы: жизнь медленно приближается к своим глубинным пределам в течение геологического времени, но их еще далеко не достигает. Она достигает геоизотермы в 100° еще менее, чем озонового экрана.

Очевидно, зеленые организмы, требующие света для своего развития, не могут идти за пределы освещенной Солнцем поверхности планеты. Ниже всего могут идти только гетеротрофные организмы и автотрофные бактерии.

Жизнь разно идет вглубь на суше и в океанах. Животная жизнь в океанах глубже всего проникает в своем рассеянии; это проникновение зависит от рельe-

фа дна. По-видимому, все же в заметных своих представителях она не идет глубже 7 км. Еще на глубине 6035 м был найден *Hyphalaster parfaiti* — морской еж.

Вероятно, плавающие глубоководные формы могут заходить в самые большие океанические глубины[1], но находки со дна глубже 6,5 км пока неизвестны.

Бактерии в рассеянном состоянии проникают всю водную толщу (найдены глубже 5 ½ км), концентрируясь в морской грязи. Их присутствие в морской грязи небольших глубин не доказано, но чрезвычайно вероятно.

123. Несравненно менее глубоко проникает жизнь суши, прежде всего потому, что нигде здесь не проникает так глубоко в земную кору свободный кислород.

В океане свободный кислород в водном газовом растворе, в котором его процентное содержание по отношению к азоту всегда выше, чем то же отношение этих газов в атмосфере, находится в неразрывной связи с наружной атмосферой. Кислород постигает самых больших глубин океана — до 10 км, и всякое уменьшение его содержания непрерывно, правда с опозданием, пополняется новым его приходом из атмосферы путем растворения и диффузии.

На суше свободный кислород быстро исчезает с глубиной, поглощается организмами или сильно окисляющимися соединениями, главным образом органическими. Исследование вод, приходящих с глубин, близких к 1 — 2 км, обычно уже не дает в их газах свободного кислорода. Между вадозной водой, содержащей свободный кислород воздуха, и водой фреатической, его лишенной, существует резкий перерыв, до сих пор в точности не выясненный.[2]

Свободный кислород проникает обычно всю почву и часть подпочвы. Верхняя граница свободного кислорода в болотистых почвах и болотах ближе к поверхности.

По М. Гассельману, болотистые почвы наших широт уже на глубине 30 см не должны содержать свободного кислорода. В подпочвах свободный кислород идет на глубину нескольких метров, иногда до 10 м и даже больше, если он не встречает на своем пути препятствий в виде твердых пород, которые поглощают свободный кислород. Следы его могут проникнуть в верхние части этих пород, которые всегда соприкасаются с водой из окружающей их среды.

Свободные пустоты и трещины, доступные проникновению воздуха, в исключительных случаях достигают по вертикальному направлению глубины в несколько сот метров. Глубже всего сейчас идут шахты и буровые скважины — создания человеческой культуры, — превышающие 2 км по вертикальному направлению, но их значение в масштабе биосферы ничтожно.

К тому же сведенные к уровню океана, такие образования в подавляющем большинстве случаев лежат выше этого уровня. Самые большие низины суши по отношению к этому уровню — дно Байкала (богатое жизнью), настоящего пресного моря, — превышают километр (более 1050 м).

Очевидно даже, принимая во внимание анаэробную жизнь, нигде на суше

---

[1] Морские глубины достигают почти 10 км. Недавно найдена глубина 9,95 км около Курильских островов. Раньше наибольшей была глубина у Филиппинских островов — 9,79 км.

[2] В огромном большинстве случаев указания на свободный кислород зависят от ошибок наблюдения.

живое не достигает тех глубин планеты, которые ему доступны в гидросфере. А между тем даже те глубины лежат далеко от тепловых пределов теоретического поля жизни.

По-видимому, жизнь в глубоких слоях континентов никогда не достигает средней глубины гидросферы (3,8 км). Правда, новые исследования происхождения нефтей и сероводорода очень понижают нижнюю границу анаэробной жизни. Генезис этих фреатических минералов, по-видимому, является биогенным и происходит при температуре, которая заметно выше, чем на земной поверхности. Но даже если бы встреченные здесь организмы (бактерии) были термофильными организмами, они все же жили бы при температуре, близкой к 70°; это еще очень далеко от геоизотермы в 100°.

124. Мы видим, таким образом, что количество живого преобладает в гидросфере не только благодаря тому, что она по размерам своей поверхности является господствующей частью области жизни, но и потому, что жизнь в ней констатирована на всем ее протяжении, в мощном слое до 10 км в пределе, в среднем слое в 3,8 км. Между тем на суше, площадь которой составляет всего 21 % поверхности планеты, область жизни в предельных проявлениях не достигает и 1,5 км ниже земной поверхности, а в среднем образует слой в немного сотен метров. И в этом тонком слое суши, в котором встречаются живые организмы, жизнь лишь в единичных случаях опускается ниже уровня моря.

В планетном масштабе жизнь на суше оканчивается на уровне океана, в гидросфере она охватывает слой на 3,8 км ниже.

ЖИЗНЬ В ГИДРОСФЕРЕ

125. Явления жизни в гидросфере, несмотря на их кажущуюся хаотичность, в действительности представляют неизменные черты, которые выдерживаются в течение всей геологической истории, начиная с археозоя. Мы должны их рассматривать как постоянные, всегда существующие и, в сущности, неизменные черты механизма всей земной коры, не только биосферы. Они во все геологические периоды удерживаются на *определенных местах гидросферы,* несмотря на вечную изменчивость и жизни и океана.

Можно характеризовать этот механизм гидросферы одинаковым образом в течение всего геологического времени.

В основу его изучения должна быть положена *густота жизни* — выделение участков, ею обогащенных. В строении океана мы всегда можем выделить такие участки, которые я буду называть *пленками и сгущениями жизни.*

Их можно рассматривать как вторичные подразделения той земной оболочки, которую представляет гидросфера, так как они являются сплошными концентрическими ее участками или могут быть таковыми в некоторые периоды ее геологической истории. *Пленки и сгущения жизни, очевидно, образуют в океане области наибольшей трансформации солнечной энергии.* По отношению к ним и в них должны изучаться все явления жизни океана, если мы хотим их охватить

в их проявлении в истории планеты. Только при этом условии можно выяснить геохимический эффект жизни в гидросфере.

Помимо пустоты жизни, важно установить свойства пленок и сгущений жизни.

1) По отношению к характеру их зеленого живого вещества и его в них распределению. Этим путем выделяются области гидросферы, в которых идет создание главной части свободного кислорода планеты.

2) По отношению к распределению в них во времени и в пространстве создания нового живого вещества гидросферы, т.е. хода в пленках и сгущениях явлений размножения. Очевидно, это явление может дать количественное представление о закономерном изменении хода в них геохимической энергии, ее интенсивности.

3) По отношению к геохимическим процессам в пленках и сгущениях в связи с историей отдельных химических элементов в земной коре. Этим путем вырисовывается отражение живого вещества океана в геохимии планеты. Мы увидим, что химические функции разных пленок и сгущений неизменны, определенны и различны.

126. Как уже указано (§ 55), вся поверхность океана сплошь охвачена зеленой жизнью (планктоном). В этой области идет выработка свободного кислорода, которым благодаря диффузии и конвекции охвачена вся масса воды океана до самых больших глубин, до самого дна.

Взятые в целом, зеленые автотрофные организмы океана сосредоточены в главной своей массе в верхней ее части, не глубже 100 м. Глубже 400 м находятся в общем только гетеротрофные животные и бактерии.

С одной стороны, вся поверхность океана является областью *растительного, хлорофиллового планктона,* с другой — местами выступают на первое место большие растительные организмы: *морские водоросли и травы.* Они наблюдаются в виде двух резко различных, хотя часто неразделяемых, типов нахождения. Мощное развитие выявляют водоросли и травы в прибрежных и мелких, вообще в морских, областях океана (*прибрежные сгущения).* Но местами водоросли образуют плавучие массы в открытом океане, одним из наибольших примеров которых является так называемое Саргассово море в Атлантическом океане, площадь которого превышает 100 тыс. км^2 (*саргассовые сгущения).*

Главная масса зеленой жизни выражена в форме микроскопических одноклеточных организмов, сосредоточенных в наибольшей своей части на поверхности океана, в планктоне.

Это должно являться следствием их большой быстроты размножения. Наблюдаемое размножение планктона отвечает величине v, равной 250 — 275 см/с (эта величина может достигать тысяч сантиметров в секунду), между тем как для прибрежных водорослей эта величина достигает всего 1,5 — 2,5 см/с (может достигать нескольких десятков сантиметров). Если бы захват поверхности океана, захват, отвечающий ее лучистой энергии, зависел только от скорости v, то планктон должен был бы занимать поверхность моря, раз в сто большую, чем большие водоросли. *К порядку этой величины действительно приближается на-*

блюдаемое распределение этих разных аппаратов образования свободного кислорода. Прибрежные водоросли могут встречаться только в более мелких участках океана[1]— в областях морей. Площадь «морей»[2], по Ю. Шокальскому (1917), не превышает 8 % поверхности океана, но лишь очень небольшая их часть занята покровом больших водорослей и трав. Очевидно, что 8 % представляют максимальный недосягаемый предел для прибрежных водорослей. Плавающие саргассовые выделения водорослей играют еще меньшую роль. Самое большое их скопление, Саргассово море, отвечает 0,02 % поверхности океана.

127. Зеленая жизнь, редко видная в океане, далеко не охватывает всего проявления жизни в гидросфере. Для гидросферы чрезвычайно характерно мощное развитие гетеротрофной жизни, совершенно необычное для нас на суше. Едва ли будет ошибочным общее впечатление, которое получается при созерцании жизни океана: по массе захваченной жизнью материи животные, а не растения занимают господствующее положение и кладут печать на все проявления сосредоточенной в нем живой природы.

Но вся эта животная жизнь может существовать только при наличии растительной жизни. Она в своем распределении теснейшим образом связана с распределением зеленой растительной жизни и с последствиями нахождения этой последней.

Тесная связь по условиям питания и дыхания разных представителей жизни как раз и вызывает образование в океане скоплений организмов, характеризующих его пленок и *сгущений жизни.*

128. Живое вещество составляет в общей массе океана небольшую процентную ее часть. Можно сказать, что обычно морская вода безжизненна. Даже бактерии, как автотрофные (§ 94), так и гетеротрофные, в ней всюду рассеянные, составляют ничтожные дроби ее веса.

Большие количества живых организмов наблюдаются только в пленках и сгущениях; здесь, и то местами, они могут составлять несколько процентов веса морской воды. Обычно в «живых» пленках и сгущениях весовой процент их содержания *больше одного,* может быть равен нескольким единицам.

Такие скопления жизни являются областями мощной химической активности.

Жизнь находится в вечном движении, однако в результате бесчисленных ее изменений образуются в гидросфере *неподвижные* или почти неподвижные места скоплений, *статические равновесия.* Они так же постоянны и так же характерны для океана, как характерны для него морские течения.

Останавливаясь только на самых общих крупных чертах распределения жизни в океане, можно в нем выделить всего *четыре статических скопления жизни: две пленки* — планктон и донную и *два сгущения* — прибрежное (морское) и саргассовое.

129. Основной, наиболее характерной формой концентрации жизни *является верхняя тонкая живая пленка планктона, богатого зеленой жизнью.* В общем она может быть рассматриваема как покрывающая всю поверхность океана.

---

[1] В том числе, когда большие глубины подходят к берегу, слой водорослей занимает очень малую площадь.

[2] Т.е. глубин ниже 1000–1200 м; сюда входят и мели.

В планктоне преобладает временами зеленый растительный мир, но роль гетеротрофных животных организмов, обусловленных в своем бытии зеленым планктоном, является по своему конечному проявлению в химии планеты, может быть, не меньшей. Фитопланктон всегда одноклеточный, но в зоопланктоне огромную роль играют *Metazoa. Metazoa* господствуют иногда в такой степени, в какой мы нигде этого не видим на суше.

Так, в планктоне океана временами в преобладающем количестве над другими живыми веществами наблюдаются яйца и молоки *рыб,* ракообразные, черви, морские звезды и т.п. В общем для микроскопического зеленого фитопланктона в среднем, по М. Йорту (Hjort), количество неделимых в кубическом сантиметре колеблется от 3 до 15; это число для всего микропланктона (в предельных числах) подымается до сотен микроскопических неделимых (А. Аллен, 1919). Число клеток фитопланктона обычно меньше числа неделимых животных (гетеротрофных) организмов. В эти числа не входят ни бактерии, ни наннопланктон. В конце концов, таким образом, надо признать, что в планктонной пленке количество микроскопических *неделимых* — независимых центров передачи геохимической энергии (§ 48) — должно исчисляться сотнями, может быть тысячами, в 1 см^3. По весу это рассеянное живое вещество составляет не меньше 10^{-4}–10^{-3} % всей массы океанической воды (вероятно, еще значительно больше).

Мощность этого слоя, большею частью находящегося на глубине 20 — 50 м, не превышает немногих десятков метров. Временами планктон поднимается к водной поверхности или опускается вниз. От этой тонкой пленки планктона количество неделимых и вверх, и особенно вниз быстро уменьшается. Глубже 400 м обычно неделимые планктона являются чрезвычайно рассеянными.

Таким образом, в общей массе воды океана, средняя мощность которой равна 3,8 км, а наибольшая глубина доходит до 10 км, живые организмы образуют тончайшую пленку, в среднем составляющую $n \cdot 10^{-2}$ часть всей мощности гидросферы. *В химизме океана эта его часть может рассматриваться как активная, а остальная масса воды — как биохимически слабо деятельная.*

Ясно, что планктонная пленка является важной частью механизма биосферы, несмотря на свою тонину, подобно тому как важной частью является озоновый экран с ничтожным процентом озона.

Ее площадь равняется сотням миллионов квадратных километров, а вес должен выражаться числами порядка 10^{15}–10^{16} т.

130. Другое сгущение — *донная живая пленка* — наблюдается в морской грязи и донном слое воды, ее проникающем и к ней прилежащем.

Этот тонкий слой по размерам и объему подобен планктонной пленке, по весу же должен быть значительно больше ее.

Донная пленка резко распадается на две части. Из них одна — *верхняя* — пелоген[1] находится в области *свободного кислорода,* на ней развивается богатая животная жизнь, в которой большую роль играют *Metazoa*; здесь мы наблюдаем

[1] Употребляю здесь выражение, принятое лимнологами. Оно предложено М. М. Соловьевым

сложнейшие соотношения между организмами биоценоза, количественная сторона которых только что еще начинает изучаться.

Местами эта фауна достигает огромного развития. Как уже указывалось, этим путем получаются скопления на гектаре живого вещества для *Metazoa* бентоса одного порядка со скоплениями сухопутных растительных *Metaphyta* при наилучших их урожаях (58).

Эти богатые жизнью грязи и связанный с ними бентос, несомненно, представляют яркие сгущения живого вещества до глубин, равных 5 км и, может быть, глубже. Только для самых больших глубин есть указания на исчезновение в них животных бентоса глубже 7 км и на значительное уменьшение числа особей с 4–6 км.

Ниже бентоса дна лежит слой *грязи дна,* составляющий нижнюю часть донной пленки. В нем в огромном количестве преобладают протисты, господствующую роль играют бактерии с их огромной геохимической энергией. Только тонкая, в несколько сантиметров мощностью, верхняя часть ее содержит свободный кислород; ниже лежит мощный слой грязи, переполненный анаэробными бактериями, прорываемый бесчисленными и разнообразными роющими животными.

Здесь все химические реакции идут в резко восстановительной среде. В химии биосферы значение этого тонкого слоя огромно (§ 141). Мощность донной пленки, считая и слой грязи, едва ли превышает 100 м; может быть, однако, она более мощна, например в тех глубинных частях океана, где развиваются такие организмы, как морские лилии, значение которых в химических процессах Земли, по-видимому, очень велико. К сожалению, можно сейчас только условно определить толщу данной концентрации жизни в 10–60 м в среднем.

Планктон и донная пленка охватывают всю гидросферу. Если поверхность планктона, может быть, в общем близка к поверхности океана, т.е. равна $3{,}6\times10^8$ км^2, *то поверхность донной пленки должна значительно превышать ее, так как она следует всей сложности и всем неправильностям рельефа океанического дна.*

К этим двум объемлющим гидросферу пленкам присоединяются местами два других сгущения, тесно связанные в своем существовании с богатой свободным кислородом поверхностью планеты, переполненные зеленою жизнью, неотделимые от планктона *сгущения жизни — прибрежные и саргассовые.*

Прибрежные сгущения иногда охватывают всю толщу воды, вплоть до донной пленки, так как они приноровлены к более мелким участкам гидросферы.

Площадь их в общем ни в коем случае не превышает значительно десятой части площади океана. Мощность их достигает сотен метров, в среднем, вероятно, местами доходит до 500 м, может быть, доходит до километра. Кое-где они соединяются в одну толщу с планктонной и донной пленками.

Прибрежные усиления жизни всегда связаны с более мелкими частями океана, с морями и прибрежными его областями. Они связаны с проникновением световых и тепловых излучений Солнца, с разрушением континентов и приносом с них реками богатых органическими остатками водных растворов и взмученной пыли суши. Общее количество этой жизни неизбежно должно быть меньше той,

которая связана с планктонной или донной пленкой, так как глубины ниже 1 км немного превышают (если превышают) десятую часть океанической площади.

Частью это леса водорослей и морских трав, частью — скопления моллюсков, постройки кораллов, известковых водорослей, мшанок.

132. Особое место, по-видимому, занимают *саргассовые сгущения* жизни, мало обращающие на себя внимания и разно объясняемые.

Они отличаются от планктонных сгущений характером фауны и флоры, а от прибрежных — тем, что независимы в своем существовании от разрушения континентов и приносимых реками созданий жизни суши. В отличие от прибрежных сгущений саргассовые являются *океаническими сгущениями* и наблюдаются на поверхности *глубоких* частей океана, вне всякой связи с бентосом и донной пленкой.

Долгое время их рассматривали как вторичные образования, приносы ветрами и морскими течениями оторвавшихся частей прибрежных сгущений жизни. Постоянные, неизменные места их нахождения в океане казались следствием распределения ветров и течений, местами — затишья, затонов.

Эти взгляды еще часто встречаются в научной литературе, но они резко противоречат фактам, по крайней мере для наиболее изученного и для наибольшего по размерам Саргассова моря Атлантического океана.

Мы встречаем в нем свою особую фауну и флору, указывающую на происхождение некоторых ее представителей из бентоса прибрежных областей. Очень возможно, что прав Л. Жермен (1924), связывающий ее происхождение с медленным приспособлением этой фауны и флоры к новым условиям, с эволюцией прибрежного живого вещества в связи с медленным опусканием в течение хода геологического времени бывшего на месте Саргассова моря исчезнувшего континента или сети островов.

Можно ли или нельзя применить это объяснение ко всем другим многочисленным сгущениям жизни этого рода, покажет будущее. Но факт остается: нахождение типа сгущений жизни, богатых крупными растительными организмами, переполненных особыми животными формами, отличных от пленок, планктонной и донной, и от прибрежных сгущений. Их точный учет не сделан, но, по-видимому, площадь океана, им обнимаемая, невелика, несравненно меньше площади прибрежных сгущений.

133. Из этого ясно, что едва ли 2 % общей массы океана заняты сгущениями жизни. Вся остальная масса содержит *жизнь рассеянную.*

Несомненно, влияние этих сгущений и пленок жизни сильно сказывается во всей толще океана, сказывается, в частности, и в ее химическом составе, и в ее химических процессах, и в ее газовом режиме, но находящиеся в этой толще в промежуточных слоях организмы не вносят существенных изменений даже в количественный учет явления.

Поэтому во всем нашем дальнейшем учете значения жизни в биосфере мы можем оставить в стороне главную массу воды океана и принимать во внимание только четыре области сгущений: планктонную и донную пленки, прибрежные и саргассовые сгущения.

134. Во всех этих биоценозах *размножение* идет с перерывами во времени, с определенным ритмом. Ритм размножения отвечает ритму геохимической работы живого вещества. Ритм размножения пленок и сгущений определяет изменения его геохимической работы для всей планеты.

Как уже указывалось, характернейшей формой обеих океанических пленок живого вещества является преобладание в их массе протистов, организмов наиболее мелких, с максимальной быстротой размножения; едва ли когда скорость передачи жизни — величина v — в благоприятных нормальных условиях их существования может быть для них меньше 1000 см/с. В связи с этим это тела с наибольшей интенсивностью газового обмена, всегда пропорционального их поверхности, и проявляющие на гектаре максимальную кинетическую геохимическую энергию (§ 41), т.е. способные в данный срок времени дать наибольшее скопление живого вещества на гектаре и достигающие наиболее быстро предела плодородия.

По-видимому, эти быстро размножающиеся протисты различны в планктонной и донной пленках. В донной преобладают бактерии, переполняющие огромные массы скопляющихся там неразложенных остатков более крупных организмов. В планктонной пленке по массе охваченного ими вещества они отходят на второе место, и на первое место выступают зеленые протисты и *Protozoa.*

135. Protozoa планктона не являются главной составной частью животной жизни планктона; среди животных преобладают ракообразные, первые стадии — яйца, мальки рыб и т.п. Metazoa.

Темп размножения Metazoa всегда медленнее размножения *Protozoa.* В иных случаях скорость передачи жизни для них исчисляется в долях сантиметра в секунду. Для океанических рыб и ракообразных планктона величина v не падает, по-видимому, ниже немногих десятков см/с.

Огромное количество *Metazoa*, нередко в виде больших форм, является характерной чертой строения донной пленки. Их размножение идет временами еще более медленным темпом, чем мелких организмов планктона.

Возможно, что здесь наблюдаются организмы с очень малой скоростью размножения.

Metazoa и Metaphyta характеризуют саргассовые и прибрежные сгущения; здесь протисты всякого рода в конце концов явно занимают второе место, и не они определяют темп геохимических процессов этих биоценозов.

В этих областях, особенно в прибрежных сгущениях, по мере углубления Metazoa начинают преобладать и в конце концов являются основными проявлениями жизни. То значение, какое они могут иметь, ясно видно на примере зарослей кораллов, гидроидов, криноидей или мшанок.

Ход размножения — правильность его ритма — далеко не охвачен нашей научной мыслью.

Мы знаем только, что размножение не идет беспрерывно и что в окружающем нас мире есть очень определенное, повторяющееся в тесной зависимости от астрономических явлений чередование этих явлений. Оно зависит от солнечного освещения, солнечного нагревания, от количества жизни, характера среды.

Увеличение размножения определенных организмов связано с увеличением движения тех атомов, которые необходимы для их жизни в тем большей степени, чем в большем количестве данные атомы входят в состав организма. Уменьшение размножения вызывает обратный процесс.

Сейчас наиболее ясна нам картина этого явления для планктонной пленки.

137. Для нее изменения размножения всегда ритмические. Они отвечают из года в год повторяющимся колебаниям среды жизни. Они находятся в теснейшей зависимости от ритмических движений океана. Эти движения океана — движения приливов и отливов, температуры, солености, интенсивности испарения, освещения — все космического происхождения.

В связи с этими явлениями в известный момент весенних месяцев по всему морю разносится волна создания органического вещества в виде новых неделимых. Волна эта замирает в летние месяцы. Эта волна выявляется в ежегодном приплоде почти всех высших животных и отражается на составе планктона. «С совершенно той же неизбежностью, с какой приближается весеннее равноденствие и повышается температура, с такой же точностью масса планктонных животных и растений, обитающих в единице объема морской воды, достигает своего годового максимума и затем вновь понижается» (Д. Джонстон, 1911). Картина, нарисованная Джонстоном, касается наших широт, но она, по существу, правильна для всего океана и меняется лишь в формах своего выражения.

Планктон — это биоценоз. Все организмы, из которых он состоит, тесно связаны в своем существовании один с другими. Первенство часто наблюдается за ракообразными (Copepoda), которые питаются диатомеями, иногда и за диатомеями, как, например, в северной части Атлантического океана.

Правильный ритм наблюдается из года в год в северо-восточных морях Европы, которые хорошо изучены. В период с февраля до июня (для большинства рыб в марте-апреле) планктон переполнен рыбьей икрой. Весной, после марта, в нем кишат кремнистые диатомовые — *Biddulphia, Coscinodiscus*, позднее — некоторые виды динофлагеллат. К лету количество диатомовых и пиридиней уменьшается, и на смену им приходят Copepoda и другие представители зоопланктона.

Осенью, в сентябре-октябре, наблюдается новый расцвет фитопланктона — диатомовых и пиридиней, но менее интенсивный.

Декабрь и особенно январь характерны обеднением жизни, земедлением размножения.

В наших широтах в феврале — июне, для большинства рыб — в марте-апреле планктон переполняется яйцами рыб. Весной в Северном море в нем кишат кремнистые диатомовые — Biddulphia, Coscinodiscus, летом — Rhizosolenia, осенью — другие диатомовые и пиридинеи. Первые два месяца года, январь и февраль, характерны обеднением жизни — земедлением размножения.

Смена темпа размножения — характерная и постоянная, различна для каждого организма — повторяется для каждого года с неизменной точностью, как повторяются все явления, связанные с космическими причинами.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ СГУЩЕНИЙ ЖИЗНИ И ЖИВЫХ ПЛЕНОК ГИДРОСФЕРЫ

138. Геохимический ход размножения выражается в ритмичности земных химических процессов. Каждая живая пленка и каждое сгущение жизни есть область создания определенных химических продуктов.

Несомненно, чрезвычайно характерно для всего живого то, что химические элементы, раз попавшись в его циклы, почти из них не выходят, в них остаются вечно. Все же небольшая часть их всегда при этом выделяется в виде новых вадозных минералов, именно она представляется нам в виде созданий химии моря. Темп размножения отражается на их выделении.

Живая планктонная пленка есть главная область выделения *самородного кислорода,* создаваемого жизнью зеленых организмов; в ней сосредоточиваются соединения *азота,* значение которых огромно в земной химии этого элемента; она является центром создания *органических* соединений океанической воды. Несколько раз в течение года здесь собирается *кальций* в виде карбонатов и *кремний* в виде опалов, и в конце концов они, падая на дно, накопляются в донной пленке. Мы видим результаты этой работы, геологически накопленной в мощных отложениях осадочных пород, в части материала меловых пород (водоросли наннопланктона, корненожки) и кремнистых отложений (диатомовые и радиолярии).

139. Близки к живой планктонной пленке по своим химическим продуктам *саргассовые* и *частию прибрежные сгущения.* Они также характерны для создания свободного *кислорода,* кислородных соединений *азота,* кислородных и азотных соединений *углерода,* соединений *кальция.*

По-видимому, в этих местах нередко наблюдается концентрация *магния,* входящего в меньшей, чем кальций, но все же в яркой и заметной степени в состав твердых частей организмов и непосредственно переходящего этим путем в состав вадозных минералов.

Гораздо менее, чем планктонная пленка, важны эти скопления жизни в истории *кремния,* хотя и здесь его круговорот через живое вещество очень интенсивен.

В истории всех химических элементов в областях скоплений жизни имеет значение двоякого рода процесс: во-первых, *прохождение* данных химических элементов через живое вещество и, во-вторых, *выделение* их — уход из живого вещества — в форме вадозных соединений.

В общем выделение этих тел в течение короткого, например годового, цикла жизни незаметно, так как количество выходящих из жизненного круговорота в этот промежуток времени элементов ничтожно. Оно становится заметным лишь в долгие промежутки времени, даже не исторические, но геологические. Этим путем создаются в земной коре массы косного твердого вещества, во множество раз превышающие вес живого вещества, в данную минуту существующего на планете.

В этом отношении наблюдается большое различие между живой планктонной

пленкой и прибрежными сгущениями жизни[1]. В этих последних выходят из цикла жизни значительно большие количества химических элементов, чем в планктонной пленке, и благодаря этому они оставляют большой след в строении земной коры.

Эти явления наблюдаются особенно интенсивно в нижних слоях прибрежных сгущений, около донной живой пленки, и в их частях, прилегающих к суше или внедряющихся в нее. В этом последнем случае характерно выделение твердых органических соединений *углерода* и *азота* и испарение газообразного сероводорода, связанное с уходом *серы* из данного участка земной коры. Этим биохимическим путем исчезают сульфаты из образующихся по краям морских бассейнов соляных озер и заливов.

141. Для прибрежных сгущений нет той резкой границы между химическими реакциями дна и поверхности моря, которая так ярка в открытом океане, где обе эти живые, химически активные пленки отделены друг от друга огромной толщей, в несколько километров мощностью, химически инертной воды.

В прибрежных сгущениях границы между пленками гидросферы вообще сближаются, а в мелких морях и вблизи берегов исчезают.

В этом последнем случае сливается действие всех скоплений жизни и наблюдаются области особенно интенсивной биохимической работы разного типа.

Донная пленка есть всегда область интенсивного проявления химической работы жизни. На первое место выступают концентрации организмов, обладающих наибольшей геохимической энергией, — бактерий. Здесь вместе с тем резко меняются химические условия обычной среды, так как благодаря нахождению больших количеств жадно поглощающих свободный кислород соединений, большей частью продуктов жизни, и медленной замене свободного кислорода, идущего в поверхности океана, в донной пленке господствует (в морской грязи) *восстановительная среда.* Здесь царство анаэробных бактерий. Только тонкий слой ее, в несколько миллиметров мощностью, пелоген, представляет область интенсивных биохимических окислительных процессов, дающих начало *нитратам* и *сульфатам.* Он отделяет верхнее население донных сгущений жизни, подобное по химическим своим проявлениям прибрежным сгущениям, от неизвестной в других местах в биосфере восстановительной среды донной грязи.

В действительности здесь благодаря непрерывному перемешиванию грязи роющими животными постоянно нарушается равновесие между окислительной и восстановительной средой: биохимические и химические реакции идут в обе стороны, усиливая создание нестойких, богатых свободной химической энергией тел.

Вместе с тем характерной особенностью донных сгущений является постоянное отложение в них гниющих остатков погибших организмов, падающих неустанно на дно с планктонной, саргассовой, прибрежных пленок, с промежуточных слоев морей и океана.

Эти остатки организмов переполнены бактериями, главным образом анаэробными, и еще более увеличивают восстановительный химический характер среды этих концентраций жизни.

---

[1] Явления в саргассовых сгущениях нам сейчас точно неизвестны.

142. Донные концентрации жизни в связи с характером их живой материи играют совершенно особую роль в биосфере и имеют огромное значение в создании ее косной материи. Ибо главные продукты их биохимических процессов, здесь образующиеся, являются в анаэробных условиях твердыми телами или телами коллоидальными, с ходом времени в значительной мере переходящими в твердые. В этих областях существуют все условия для их сохранения, так как здесь организмы по отмирании и их остатки очень быстро выходят из обычных биохимических условий тления и гниения, из условий того процесса, который в среде, содержащей кислород, в конце концов переводит значительную часть их вещества в газообразные продукты; они не окисляются (не «сгорают»).

Уже на небольшой глубине в морской грязи прекращается не только аэробная, но и анаэробная жизнь. По мере падения сверху остатков жизни и взмученных частей косной материи нижние слои морской грязи становятся безжизненными, и образованные жизнью химические тела не успевают перейти в газообразные продукты или войти в новые живые вещества. Живой слой грязи никогда не превышает немногих метров, между тем как он непрерывно растет с поверхности. Снизу он неустанно замирает.

«Исчезновение» остатков организмов, переход их в газы есть всегда процесс биохимический. В слоях, лишенных жизни, остатки организмов медленно меняются, переходят в течение геологического времени в вадозные твердые и коллоидные минералы.

Продукты такого происхождения окружают нас всюду и, измененные химическими процессами с ходом времени, в форме осадочных пород составляют поверхность планеты в несколько километров средней мощностью. Они постепенно переходят в метаморфические породы, еще больше изменяются и, попадая в области высокой температуры в магматическую оболочку Земли, входят в состав массивных, гипабиссальных пород — фреатических и ювенильных тел, вновь вступающих в биосферу с ходом времени под влиянием энергии, проявлением которой является высокая температура этих слоев (§ 77, 78). Они вносят в эти области планеты свободную, превращенную в жизнь химическую энергию, которую зеленый организм получил некогда в биосфере в форме космических излучений, солнечных лучей.

143. Поэтому живые донные пленки в связи с прилегающими к ним прибрежными скоплениями жизни заслуживают особого внимания при учете химической работы живого вещества на нашей планете.

Они образуют мощные, химически активные участки земной коры, действующие медленно, но в общем одинаково в течение всего геологического времени.

Распределение моря и суши на земной поверхности дает понятие об их перемещении на ней во времени и месте.

Геохимическое значение донных, живых пленок велико как для их окислительной верхней части (главным образом бентоса), так и для их нижних, восстановительных слоев. Оно еще больше увеличивается в тех частях, где эти пленки сливаются с прибрежными сгущениями жизни и где к обычным для них продук-

там прибавляются (выше 400 м, **§** 55) свободный кислород и биохимические продукты, связанные с ним и работой зеленой жизни.

В главной своей части окислительная среда донной пленки резко сказывается в истории многих химических элементов, не только *кислорода, азота* или *углерода.*

Прежде всего она совершенно меняет историю *кальция* на Земле. Очень характерно, что кальций из всех металлов является господствующим в живом веществе. В валовом составе живого вещества он превышает 1 % по весу, а в очень многих организмах, главным образом морских, его количество превышает 10 % и даже 20 %. Этим путем, деятельностью живого вещества, кальций в биосфере отделяется от натрия, магния, калия, железа, с которыми он связан в косной материи земной коры в общих молекулах и с которыми он сравним по своей распространенности. Кальций жизненными процессами организмов переводится в карбонаты, сложные фосфаты, значительно реже — в кальциевые оксалаты. Кальций уже в организмах приводится в форму карбонатов и сложных фосфатов, в виде несколько измененных форм он сохраняется и в вадозных минералах биохимического происхождения.

Океан, главным образом его области донных и прибрежных сгущений жизни, является тем механизмом, который создает кальциевые покровы планеты, отсутствующие в ювенильных силикатных массах ее коры и в глубоких фреатических областях.

Ежегодно в океане откладывается не меньше 6×10^{14} г кальция в виде карбонатов. Не меньше 10^{18}–10^{19} г кальция находится в непрерывном круговороте в живом веществе; это составляет уже заметную часть всего кальция земной коры (около 7×10^{23} г) и очень значительную часть кальция биосферы. Кальций концентрируется не только организмами бентоса, обладающими значительной скоростью передачи жизни: моллюсками, криноидеями, морскими звездами, водорослями, кораллами, гидроидами и другими, он собирается протистами морской грязи, еще больше — планктона, в том числе наннопланктона, и бактериями, обладающими максимальной для живого вещества кинетической геохимической энергией.

Путем выделения соединений кальция, образующих целые горы, участки в миллионы кубических километров объемом, солнечная энергия, жизнедеятельность организмов определяют химию земной коры не меньше, чем разложением углекислоты и воды и созданием этим путем органических соединений и свободного кислорода.

Кальций выделяется главным образом в виде карбонатов, частью в виде фосфатов. Он приносится в океан реками с суши, где главная его часть тоже прошла (в другой форме) через наземную жизнь (§ 156).

144. Помимо кальция, эти области скоплений жизни аналогичным образом влияют на историю других распространенных в земной коре элементов, несомненно *кремния, алюминия, железа, марганца, магния, фосфора.*

Многое еще нам неясно в этих сложных природных явлениях, но общий результат — огромное значение этой живой пленки в геохимической истории указанных элементов — является несомненным.

В истории *кремния* влияние донной пленки сказывается в образовании отложений остатков кремниевых организмов, частью планктонных, частью донных: радиолярий, диатомовых, морских губок. В результате образуются самые большие нам известные скопления свободного кремнезема, в сотни тысяч кубических километров объемом. Этот свободный кремнезем, инертный и малоизменчивый в биосфере, в метаморфической и магматической оболочках Земли благодаря своему химическому характеру свободного кислотного ангидрида является интенсивным химическим фактором, носителем свободной химической энергии.

Едва ли можно сомневаться и в другой биохимической реакции, здесь идущей, общее значение которой мы сейчас уже не можем уяснить. Это разложение диатомовыми и, может быть, бактериями алюмосиликатов каолинового строения, ведущее, с одной стороны, к образованию указанных выше отложений свободного кремнезема, а с другой — к выделению *гидратов окиси алюминия.* Этот процесс идет, по-видимому, не только в грязи, но, судя по опытам Ж. Мёррея и Ф. Ирвина, и во взмученной глинистой мути морской воды, которая сама является результатом биохимических процессов выветривания косной материи суши.

145. Вероятно, не меньше значение этих областей и связанных с ними биохимических реакций в истории *железа* и *марганца.* Несомненен результат этих реакций: образование в земной коре самых больших скоплений этих элементов, нам в земной коре известных. Таковы молодые третичные железные руды Керчи, мезозойские — Эльзас-Лотарингии. Это доказано новыми работами русских ученых (Б. В. Перфильева, В. С. Буткевича, Б. Л. Исаченко, 1926 — 1927). Эти бурые железняки и богатые железом хлориты, по-видимому несомненно, выделились в теснейшей связи с остатками организмов, но механизм процесса нам неясен. Вероятно, мы имеем здесь дело с бактериальным процессом, по крайней мере отчасти.

На всем протяжении геологической истории, начиная с архейской эры, наблюдается повторение тех же процесов. Так образовались, например, величайшие древнейшие скопления железа в железных рудах Миннесоты.

146. Тот же характер имеют многочисленные руды марганца и его величайшие скопления в Закавказье, в Кутаисской губернии. Есть переходы между железными и марганцевыми рудами, и идут и сейчас на значительных протяжениях морского дна аналогичные их выделения, биохимическое, бактериальное происхождение которых чрезвычайно вероятно, если не может считаться доказанным.

Тот же самый характер носят выделения соединений *фосфора,* выпадающие и ныне на морском дне при условиях, для нас не вполне ясных.

Связь их с явлениями жизни, с биохимическими процессами, несомненна, но механизм процесса точно неизвестен.

Несомненно, фосфор таких фосфоритовых залежей, главным образом конкреционных образований, известных на всем протяжении геологической истории, по крайнем мере с кембрия, — органического происхождения. Несомненно, везде он здесь связан с морскими донными сгущениями жизни. В них же в несравненно меньших размерах фосфоритные конкреции образуются и сейчас кое-где (у Южной Африки, например) на морском дне. Несомненно, часть этого фосфора уже

была концентрирована в виде фосфатов организмами при их жизни в богатых им частях тела.

Обычно, однако, фосфор организмов, столь необходимый для живого, не выходит из жизненного круговорота. Условия его выхода из цикла жизни нам неясны, причем все указывает на то, что наряду с фосфором скелетов (твердых соединений кальция) в конкреции переходят и фосфор коллоидальных органических соединений, и фосфаты растворов организма.

Этот выход совершается при особых условиях гибели богатых фосфорсодержащими скелетами организмов, делающих невозможными обычные процессы изменения их тел и создающих благоприятную среду для жизнедеятельности особых бактерий.

Несомненен, во всяком случае, факт биогенного происхождения этих образований, их постоянной теснейшей связи с живой донной пленкой и постоянного повторения аналогичных явлений в течение всего геологического времени.

Этим путем собираются самые большие концентрации фосфора, нам известные, вроде тех, какие проявляют нам третичные фосфориты Северной Африки или юго- восточных штатов Северной Америки,

147. Несомненно, наши знания о химической работе живого вещества этой пленки все еще неполны. Ясно, что ее роль значительна в истории *магния*, в истории *бария* и, должно быть, других химических элементов, как, например, *ванадия, стронция* или *урана.* Здесь мы находимся перед большой, еще мало затронутой точным знанием областью явлений.

Еще больше неясностей и загадок представляет другая область *донной пленки* — лишенная кислорода нижняя ее часть. Это область анаэробной бактериальной жизни и физико-химических явлений, связанных с проникающими ее органическими соединениями. Эти соединения были созданы в другой химической среде особыми, чуждыми в обычной среде, богатой кислородом, живыми организмами.

Хотя процессы, здесь происходящие, в значительной степени остаются для нас темными и по отношению к целому ряду вопросов, с ними связанных, мы вынуждены делать гипотезы, мы не можем оставлять их без внимания и должны их учитывать при оценке роли живого в механизме земной коры.

Ибо два эмпирических обобщения *несомненны:* 1) значение этих грязевых отложений, богатых остатками организмов, в истории *серы, железа, меди, свинца, серебра, никеля, ванадия,* по-видимому, *кобальта,* может быть, других, более редких металлов и 2) повторяемость этого явления в разные геологические эпохи, указывающая на связь его с определенными физико-географическими условиями замирания морских бассейнов и их биологическим характером.

148. Для *серы* несомненно непосредственное участие в ее выделении особых живых организмов — бактерий, выделяющих сероводород, разлагающих сульфаты или сложные, содержащие серу органические соединения. Выделяемый при этом сероводород вступает в многочисленные химические реакции и дает сернистые металлы. Это биохимическое выделение сероводорода — характерное явле-

ние данной области и наблюдается непрерывно всюду в морской грязи, причем в наружных частях ее он быстро биохимически окисляется вновь в сульфаты.

Биохимический характер выделения соединений других металлов неясен. Многое указывает, что железо, медь, ванадий, а может быть, и другие находящиеся здесь и соединяющиеся с серой металлы получаются разрушением организмов, ими богатых. С другой стороны, очень вероятно, что органические вещества морской грязи обладают способностью задерживать металлы, осаждать их из слабых растворов, причем сами металлы могут не иметь никакого прямого отношения к живому веществу.

Но и в том и в другом случае этого выделения металлов не было бы, если бы не было остатков жизни, т.е. если бы морская грязь не являлась в своей органической составной части продуктом живого вещества.

Мы наблюдаем сейчас такие процессы в большом масштабе в Черном море (выпадение сернистого железа), в малом — во множестве мест. Их широкое развитие в другие геологические периоды может быть прослежено во множестве случаев. В пермский и триасовый периоды в области Евразии были выделены этим путем из растворов или из живого вещества огромные количества меди.

149. Из всего вышеизложенного ясно, что во все геологические периоды существовало то же самое распределение жизни в гидросфере и сказывалось то же самое неизменное ее проявление в химии планеты. Те же самые живые пленки, планктонная и донная, и те же морские сгущения жизни (по крайней мере прибрежное) существовали во все геологические периоды, являлись частью одного и того же непрерывно существовавшего все эти сотни миллионов лет биохимического аппарата.

Все время происходившие перемещения суши и моря вызывали смещения на поверхности планеты одних и тех же химически активных областей, образованных живым веществом, — живых пленок и сгущений гидросферы. Они этим путем переходили, как пятна лика планеты, с одного места на другое.

Нигде мы не видим при излучении древних геологических отложений указаний на изменение такого строения гидросферы или его химических проявлений.

А между тем морфологически за этот ход времени живой мир изменился до неузнаваемости. Очевидно, это его изменение заметно не отражалось ни на количестве живого вещества, ни на его среднем валовом составе: морфологическое изменение шло в известных рамках, не нарушавших проявления жизни в химической картине планеты.

И это несмотря на то, что морфологические изменения, несомненно, были связаны с большими — в масштабе организма — нарушениями химического характера как по отношению к индивидууму, так и по отношению к виду. Создавались новые химические соединения, исчезали старые (с вымиранием видов), но это не отражалось заметно на геохимическом эффекте жизни при ее изучении как планетного явления. В этом масштабе незаметно даже такое, несомненно огромное, химическое изменение в истории кальция, фосфора, может быть, магния, как создание скелета Metazoa.

Очень вероятно, что в допалеозойское время организмы были лишены этого скелета; эта гипотеза, которая многими считается установленным эмпирическим

обобщением, действительно, многое объясняет в палеонтологической истории органического мира.

Для того чтобы это явление не отразилось на геохимической истории фосфора, кальция, магния, необходимо допустить, что до создания скелетных Metazoa выделение схожих соединений этих элементов шло в том же масштабе жизнедеятельностью протестов, между прочим, бактерий; такое выделение длится и до сих пор, но раньше оно должно было играть еще большую и исключительную роль.

Если эти два явления, которые с точки зрения геологического времени различны, вызывают биогенную миграцию одних и тех же атомов, то морфологические изменения, хотя бы и очень значительные, могут не оказать нового влияния на геохимическую историю этих элементов. Все указывает на то, что, действительно, такое положение вещей имело место в геологической истории Земли.

ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО СУШИ

150. Совершенно иную картину, чем гидросфера, представляет *суша.* По существу, мы имеем здесь одну живую *пленку*, которую представляют *почва* и населяющая ее фауна и флора.

Однако среди этой единой, переполненной жизнью пленки необходимо выделить на земной поверхности еще водные *сгущения* живого вещества — *водные вместилища,* которые и с биохимической, и даже с чисто биологической точки зрения резко отличны от суши; геологический же их эффект явно совершенно иной.

Жизнь покрывает сушу почти сплошной пленкой; мы находим ее проявление и на сплошных ледниках и снегах, в пустынях, на высотах гор. Едва ли можно говорить о безжизненности на поверхности суши, можно говорить только о временной безжизненности, о разрежении жизни. В той или иной форме жизнь проявляется всюду. Разрежения жизни, пространства суши, ею бедные, пустыни, ледники и снежные поля, снежные горы в общей сложности едва ли составляют 10 % ее поверхности. Вся остальная поверхность суши является жизненной пленкой.

151. Мощность этой пленки очень незначительна; она для сплошных лесных пространств не подымается выше нескольких десятков метров над земной поверхностью; в полях и степях она подымается на несколько метров.

Леса в экваториальных областях, где деревья достигают наибольшей высоты, образуют пленку жизни, мощность которой 40–50 м. Самые высокие деревья, в 100 м и больше, теряются в общем облике растительности и не могут приниматься во внимание отдельно от общего ее уровня.

Жизнь проникает в глубину почвы и подпочвы только на несколько метров.

Аэробная жизнь прекращается на глубине 1–5 м, анаэробная идет в общем на несколько десятков метров.

Вглубь она нигде не идет глубже 1–5 м, глубже слоя *почвы* и верхней подпочвы.

В общем на поверхности суши чередуются участки живой пленки в десятки метров (области лесов) и в немногие метры мощностью (травяной покров).

Деятельность культурного человечества внесла в структуру этой пленки такие изменения, каких нигде не наблюдается в гидросфере.

Эти изменения—новое явление в геологической истории планеты, еще не учтенное в своем геохимическом эффекте. Одним из главных его проявлений является чрезвычайное уменьшение лесных пространств, т.е. более мощных частей пленки.

152. Мы сами входим в состав этой пленки, и нам чрезвычайно ясно ее изменение — в ее составе и в ее проявлении — в течение годового солнечного цикла.

Здесь преобладают по количеству захваченного жизнью вещества зеленые растения, и среди них травы и деревья, в животном населении — насекомые, клещи, может быть, пауки. В общем при поразительном многообразии жизни океана живое вещество второго рода — звери, гетеротрофные организмы — играет подчиненную роль. Значительные части суши, тропические леса, как гилея Африки, или северная тайга, являются почти пустынями в отношении млекопитающих, птиц и других позвоночных. Членистоногие, которые для нас менее заметны, составляют очень рассеянное животное население этих мощных растительных сообществ. То, что медленно выяснялось в планктоне, — сезонные усиления и ослабления размножения — здесь общеизвестно. Жизнь замирает в наших широтах зимою, возбуждается и развивается весною.

Тот же процесс идет всюду в разных формах, в большей или меньшей яркости от полюсов и до тропиков.

Это не только явление, резко выраженное для поверхностной зеленой растительности и связанного с нею животного мира, для которого столь же характерны периодически сезонные периоды размножения. То же самое наблюдается и для *почв.* К сожалению, здесь вопрос малоизучен, а между тем, как мы увидим, значение почв в истории планеты гораздо большее, чем это обычно кажется.

В общем для *всех пленок* — и гидросферы и суши — существуют регулируемые Солнцем усиления и ослабления размножения — хода геохимической энергии живого вещества, «вихрей» химических элементов, им захватываемых. Геохимические процессы пульсируют, закономерно замирают и усиливаются.

Числовые законности, здесь явно существующие, нам совершенно неизвестны.

153. Геохимические явления, связанные с живой пленкой суши, чрезвычайно характерны и резко отличают ее от морских пленок.

В живой пленке суши никогда процессы выхода химических элементов из жизненного цикла не приводят к таким скоплениям вадозных минералов, какие мы наблюдаем в морских отложениях, где ежегодно отлагаются миллионы тонн карбонатов кальция и магния (известняки и доломитизованные известняки), кремнезема (опалы и т.п.), гидратов окиси железа (бурые железняки), водных окислов марганца (пиролюзиты и псиломеланы), сложных фосфатов кальция (фосфориты) и т.п. (§ 143). Все эти образования в огромном большинстве морского происхождения, во всяком случае, водного. В живом веществе суши химические элементы не выходят в еще более подавляющей своей части (§ 144) из жизненного цикла, чем в гидросфере. После умирания организма или отмирания

его частей вещество или немедленно, без перерыва, захватывается новыми организмами, или же уходит в атмосферу в виде газообразных продуктов. Эти биогенные газы — O_2, CO_2, H_2O, N_2, NH_3... — вновь сейчас же захватываются в живое вещество его газовым обменом.

Мы имеем здесь очень совершенное динамическое равновесие, которое приводит к тому, что огромная геохимическая работа живого вещества суши оставляет после десятков миллионов лет своего существования ничтожные следы в твердых телах, строящих земную кору. Химические элементы живого вещества суши находятся в Непрерывном движении в форме газов и живых организмов.

154. Из этого динамического равновесия постоянно выходит ничтожная по весовому процентному содержанию, но выражающаяся, надо думать, ежегодно во многих миллионах тонн масса твердых остатков жизненного цикла суши в виде мельчайшей пыли «органического вещества» — соединений главным образом углерода, кислорода, водорода, азота, в меньшей степени фосфора, серы, железа, кремния и т.п., которые проникают всю биосферу и в некоторой, неопределимой пока части уходят из жизненного цикла, иногда надолго, на миллионы лет.

Эти органические остатки проникают всю материю биосферы, живую и косную, собираются во всех вадозных минералах, во всех поверхностных водах и реках и атмосферными осадками сносятся в море. Их влияние в ходе химических реакций биосферы огромно и аналогично тому влиянию органических растворенных веществ природных вод, о котором упоминалось выше (§ 93). Органические остатки жизни полны — в термодинамическом поле биосферы — свободной химической энергией; по своим малым размерам они легко дают водные дисперсные системы — коллоидальные растворы.

155. На суше органические остатки концентрируются в *почвах,* которые, однако, никак нельзя рассматривать как косную материю. В почвах живое вещество достигает нескольких десятков весовых процентов; это область наивысшей геохимической энергии живого вещества, важнейшая по своим геохимическим последствиям лаборатория идущих в ней химических и биохимических процессов.

Почва по своему значению аналогична грязевой части донной пленки (§ 141), но в отличие от нее в почве преобладает *окислительная среда.* Вместо нескольких миллиметров ее толщины в донной грязи мощность ее здесь может превышать метр. Роющие животные и здесь являются могучим фактором ее уравнивания.

Почва является областью энергичного выветривания в среде, богатой кислородом и углекислотой, которые отчасти создаются живым веществом, в ней находящимся.

Но в отличие от наземного биохимизма суши химические создания почвы не входят целиком в новые жизненные вихри элементов, выражающие, по образному выражению Ж. Кюбье, сущность живого, не уходят в газовые формы вещества. Они выходят на некоторое время из цикла жизни и отражаются в другом огромном явлении планеты — в составе природной воды, в соленой воде океана.

Почва жива, пока она влажная. Ее процессы идут в водной среде — в растворах или дисперсных системах.

И этим обусловливается иной характер проявления живого вещества почвы в химии планеты по сравнению с живыми организмами, *на ней* находящимися. В их проявлении решающую роль играет механизм воды на суше.

156. Вода на суше находится в постоянном круговороте. Этот круговорот совершается энергией Солнца, его тепловыми лучами. Этим путем проявляется космическая энергия на нашей планете в не меньшей степени, чем она выявляется в геохимической работе жизни. Деятельность воды в механизме всей земной коры совершенно решающая; особенно ярка она в биосфере. Она не только составляет в среднем много более двух третей по весу живой материи (§ 109), ее присутствие является необходимым условием размножения живых организмов, проявления их геохимической энергии, условием их выявления в механизме планеты.

В биосфере не только вода неотделима от жизни, но и жизнь неотделима от воды. Трудно учесть, где кончается влияние одного тела — воды и начинается влияние другого — разнородного живого вещества.

Почва непосредственно захватывается круговоротом воды, она ею обтекается благодаря осадкам. Всюду идет непрерывный процесс ее выщелачивания, стекания по ней поверхностных вод. Они непрерывно растворяют и уносят во взмученном состоянии богатые органическими остатками ее части. Состав пресной воды, таким путем связанный с почвой, непосредственно определяется химизмом почвы, является проявлением ее биохимизма. Почва резко определяет таким путем в самой основной его части состав речной воды, куда в конце концов собираются все эти поверхностные воды.

Реки несут свои воды в море, и состав морской воды в его солевой части в конце концов и главным образом обусловлен ими, т.е. обусловлен химической работой почвы — ее столь еще мало нам известным биоценозом.

На нем отражается окислительный характер среды почвы; он выражается в конечных растворимых продуктах ее живого вещества. В водах рек преобладают сульфаты и карбонаты, натрий соединен с хлором. В тесной связи с биохимизмом этих элементов в почве характер их нахождений в речной воде резко отличается от твердых их выделений в лишенных жизни земных оболочках.

157. В связи с циркуляцией воды на суше наблюдаются и другие закономерные химические проявления населяющего ее живого вещества.

Жизнь, населяющая водные пространства, резко отличается по своим эффектам от жизни наземной.

Здесь мы наблюдаем во многом явления, аналогичные пленкам и сгущениям гидросферы, здесь в меньшем масштабе можно отличить и планктонную и донную пленку, и сгущения, отвечающие прибрежным. Здесь, помимо окислительной среды, имеют место и химические реакции в среде *восстановительной.* Здесь, наконец, увеличивается выход химических элементов из жизненного круговорота и образование твердых продуктов, входящих позже в состав осадочных пород земной коры. И здесь, по-видимому, этот процесс выделения твердых продуктов связан с явлениями восстановительной среды, быстрого исчезновения кислорода, а затем и прекращения не только аэробной, но и анаэробной жизни простейших.

При таком общем сходстве гидрохимический эффект этого явления суши существенно отличен от наблюдаемого в гидросфере.

158. Это связано с резким отличием от гидросферы водных вместилищ суши. Химическим основным различием является пресный характер главной массы воды, физическим — мелкость водовместилищ. Главная масса суши в области *биосферы* сосредоточена в лужах, озерах и болотах, а не в реках. Благодаря мелкости бассейнов они представляют одно пресноводное сгущение жизни.

Только в *пресных морях,* как, например, Байкальском, мы наблюдаем раздельными живые пленки, подобно гидросфере. Но эти глубокие озера являются исключением.

В связи с таким характером озер их биогеохимическая роль резко отлична от водных вместилищ океана, и прежде всего это выражается в том, что продукты выделения в пресных водных бассейнах иные. На первое место выступают соединения углерода. Хотя и кремнезем, и карбонаты кальция, и бурые окислы железа образуются в донных пленках и связанных с ними сгущениями водоемов суши, все же они отходят на второй план по сравнению с выделением углеродистых тел. Здесь — и только здесь — идет в заметной степени выделение стойких вадозных углеродо-водородо-азотистых тел, бедных кислородом: всех углей и битумов. Это стойкие формы вадозных минералов, в которые переходят, выходя из биосферы, органические соединения углерода. В конечном их изменении в метаморфических областях углерод выделяется в свободной форме графита.

Причина образования стойких углеродо-азотистых тел только в пресных водовместилищах нам не ясна, но она выдерживается неизменно в течение всего геологического времени. В соленой воде моря мы сколько-нибудь их значительных скоплений не знаем. Является ли это следствием химического характера среды или строения живой природы, сказать нельзя, но и в том и в другом случае явление это связано с характером жизни.

Скопления этих органических веществ являются очагами огромной потенциальной энергии «погребенными лучами Солнца», по образному выражению Р. Майера, значение которых так велико в истории человека, но далеко не безразлично и в природе. Понятие о масштабе проявлений этого процесса можем получить, учтя количество известного нам каменного угля.

Возможно, что такие каменноугольные бассейны образовывались в соседстве с морями.

Мне кажется почти несомненным, что в этих пресноводных сгущениях суши надо искать и главные места выделения жидких углеводородов — нефти, — зависимость которых от скоплений жизни биосферы может считаться вполне точно установленной для главных типов нефтяных месторождений.

СВЯЗЬ ЖИВЫХ ПЛЕНОК ГИДРОСФЕРЫ И СУШИ

159. Из предыдущего ясно, что все живое представляет неразрывное целое, закономерно связанное не только между собой, но и с окружающей косной средой биосферы.

Но наши современные знания недостаточны для получения яркой единой картины. Это — дело будущего, которое объяснит и лежащие в ее основе числовые соотношения.

Мы же только улавливаем самые общие контуры явления. Главнейший факт — это существование биосферы в течение всех геологических периодов, с самых древних их проявлений, с архейской эры.

Эта биосфера в основных своих чертах представляла один и тот же химический аппарат.

Мы видим, что неизменно в течение всего геологического времени под влиянием неуклонного тока лучистой солнечной энергии в биосфере действовал этот химический аппарат, созданный и поддерживаемый в своей деятельности живым веществом.

Этот аппарат состоит из определенных концентраций жизни, которые занимают, вечно меняясь, одни и те же места в земных оболочках, отвечающих биосфере. Эти концентрации жизни — живые пленки и сгущения жизни — являются как бы более частными делениями земных оболочек. В общем их концентрический характер выдерживается, хотя они никогда не дают сплошного, непрерывного покрова поверхности планеты.

Они являются областями планеты химически активными; здесь сосредоточены разнообразные статические — установившиеся — системы динамических равновесий земных химических элементов. Это *области,* где обтекающая весь земной шар *лучистая энергия Солнца принимает форму земной свободной химической энергии,* причем она превращается в земную энергию в различной мере для разных химических элементов.

Существование этих областей планеты связано, с одной стороны, с той энергией, какую она получает от Солнца, а с другой — со свойствами того живого вещества, которое является аккумулятором и трансформатором этой энергии в земную химическую. Свойства и расположение химических элементов играют при этом большую роль.

160. Все эти сгущения жизни теснейшим образом между собой связаны. Одно не может существовать без другого. Эта связь между разными живыми пленками и сгущениями и неизменный их характер есть извечная черта механизма земной коры, проявлявшаяся в ней в течение всего геологического времени.

Как не было ни одного геологического периода, когда бы не было суши, так не было и такого, когда бы она одна существовала. Только в отвлеченной фантазии ученых наша планета являлась в виде сфероида, покрытого океаном, в форме «Панталассы» Э. Зюсса или в форме сухой, уравненной, мертвой пенеплены, как ее рисовал давно Э. Кант и относительно недавно П. Лоуэлль.

Суша и океан существовали совместно, начиная с отдаленнейших геологических эпох. Их существование связано с геохимической историей биосферы и является важной частью ее механизма.

С этой точки зрения попытки объяснить происхождение наземных организмов из морских несостоятельны и фантастичны. Воздушная жизнь в рамках гео-

логического времени так же стара, как и морская; ее формы развиваются и изменяются, но это изменение происходит всегда на земной поверхности, а не в океанических водах.

Если бы это не было так, то был бы период революционный, период внезапного изменения механизма биосферы, который должен был бы быть обнаружен геохимическими процессами. Между тем этого нет.

С архейского периода механизм планеты и биосферы в общих чертах неизменен.

Жизнь остается в главных своих чертах в течение геологического времени постоянной, меняется только ее форма.

В действительности всегда на ней существовали все живые пленки — планктонная, донная, почвенная и все живые сгущения — прибрежные, саргассовые (?) и пресноводные.

Менялись с ходом времени — колебались — их взаимные отношения, количества связанного в них вещества. Едва ли, однако, эти изменения могли быть очень значительны, так как при неизменном или почти неизменном в течение геологического времени притоке энергии, солнечного лучеиспускания, распределение этой энергии в пленках и сгущениях должно было быть обусловлено живым веществом, которое в нем является основной и единственной изменчивой частью в термодинамическом поле биосферы.

Но само живое вещество не является случайным созданием. Оно в себе самом так же отражает солнечную энергию, как отражают ее его земные концентрации.

Можно идти дальше в нашем анализе, углубиться в тот сложный механизм, который представляют собой живые пленки и сгущения, и в те химические взаимоотношения, какие должны для них при этом выявляться. Я надеюсь «в следующих очерках остановиться на этих двух проблемах — однородных живых веществах и структуре живой природы в биосфере.

ИЗОТОПЫ И ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО[1]

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 к 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.

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

---

[1] Напечатано в «Докладах Академии Наук СССР», 1926, стр. 215. Печатается по изданию: Биогеохимические очерки. 1922-1932 гг./В. И. Вернадский. — М.-Л.: Издательство АН СССР, 1940. с. 84-87.

ториевых тел), отличия в атомных весах не замечено. Его не нашли для Cl, Fe, Ni, As, Sb, Si, Mg. 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], меняющая все геохимические реакции и переводящий лучистую энергию Солнца в *химически активную форму,* [11*,* стр. 18, 27 и сл.].

Следующие данные позволяют ожидать, что характер химических элементов действительно в живом веществе своеобразен [11**,** стр. 66].

Прежде всего данные, которые вносят геохимия и геология.

Отсутствие абиогенеза (т. е. каких бы то ни было указаний на него) в течение всей геологической истории.

Резко отличная от всех других *форма нахождения* химических элементов в живом веществе. Формы нахождения являются всегда проявлением их атомных свойств, а не молекулярных [11*,* стр. 83 и сл.; *19,* стр. 34 и сл.].

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].

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 повидимому 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*,* стр. 313]. Повидимому, как это видно для кальция, не во всех частях организма могут на-

блюдаться 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 обусловливала 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 но внимание, что миграции химических элементов н земной коре обусловливаются законами равновесий разнородных средин, очевидно, что химические элементы будут находиться в устойчивом состоянии в живых веществах только тогда, когда свободная энергия этих систем будет минимальной 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 внимания 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 пробовал. [1]

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.

[1] Это положение, в 1926 году казавшееся верным, сейчас (1940) таким считатся не может. Изотопы открыты для C, 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.

О РАЗМНОЖЕНИИ ОРГАНИЗМОВ И ЕГО ЗНАЧЕНИИ В СТРОЕНИИ БИОСФЕРЫ[1]

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 биллиона лет без перерыва идет ее химическая работа.[2] Она обусловливает 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 $5{,}10065\times10^8$ км^2; 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 доходящий 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.[3] (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 грязях 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 тем огромным хранилищам

---

[1] Несколько переработанная речь, прочтенная в январе 1926 г. в заседании Физико-математического факультета Масарикова университета в Брно и в апреле 1926 г. в заседании Ленинградского общества естествоиспытателей в Ленинграде. Напечатана в «Изв.Акад.Наук» 1926. В Заглавии было « О механизме биосферы». Печатается по изданию: Биогеохимические очерки. 1922-1932 гг./ В. И. Вернадский. — М.-Л.: Издательство АН СССР, 1940. с. 59-83.

[2] Очевидно сейчас (1935 г), что жизнь существует на нашей планете несколько больше двух биллионов лет. Пегматитовые жилы Северной Карелии (около Синей Палы и др.) существуют около $2{,}1\times10^9$ лет (более 21000 декамириад) — они являются верхнеархейскими и, может быть еще более ранними – протоархейскими. Их геологическое положение см. В. Тимофеев [14]. О декамириадах см. В. Вернадский [15]. Вопрос о древнейших областях суши был поставлен как вопрос дискуссии на сессии Международного геологического конгресса в Москве в 1937 г., и древнейшие участки суши территории нашего Союза были в этом году выявлены.

[3] Сейчас границу надо понизить по крайне мере до 3 км, может быть до 4 км. Нижняя граница биосферы находится ниже, чем мы думали. Старые, забытые наблюдения швейцарского ученого Штапффа (1870-1890 гг.) (о них см. В.Вернадский [16] о нахождении жизни на больших глубинах (протисты) подтвердились благодаря работам главным образом американских (Бастин и др.) и русских (лаборатория проф. Н.Г. Ушинского в Баку — Н.Г.Ушинский, М.Гинзбург-Карагичева, А.Мальянц и др.) ученых. Ср. В.Вернадский [17]).

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 × 1021 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, повидимому, не меняется. Оно исчисляется в пределах 1020–1021 г; оно одного порядка с количеством свободного кислорода.[1]

В общей массе земной коры, близкой к 2×1025 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.

[1] Количество живого вещества точно не учтено. См. В. Вернадский [1].

Она находится в вечном движении, совершает работу, богата свободной 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 материн, 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 п 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 неделимых[1]. 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.

---

[1] Надо принять по внимание еще характер занятого ЖИВЫМИ организмами пространства.

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 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 пх 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 быстроте 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 оно 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 геохимическое энергией, чем равная 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 подымающихся 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 материм 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 узнан, когда известно количество составляющих его неделимых и средний вес неделимого. Точно так же легко может быть количественно определен для их совокупности средний химический состав организма и выражен или в весовых или к 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 сделаны[1].

IV

Размножение организмов главным образом производит ту работу, которая связана с захватом организмом новых химических элементов из окружающей среды — из биосферы.

[1] Это верно и теперь, как было верно в 1926 г

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 ныразить 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 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 — с 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.

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 длящемуся в этом газе созданию новых атомов, их рождению, увеличению их числа.

Это движение совершается для видных глазу организмов относительно медленно.

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 сознаем 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 оставлю 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 зарастания 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 итти 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.

Но отношению к первому фактору мы имеем множество отдельных наблюдений. точно установленных фактов и относительно небольшое число очень важных — большею 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 влиянием 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 понимании миря.

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 тем 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 $m\times365$, причем m 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 α = 3, то к концу суток каждое неделимое — сколько бы их ни было — превращается в 4 неделимых; если α = 0,5, оно превращается в 1,5 неделимых и т. д.

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 $1{,}8\times10^{18}$ и $1{,}7\times10^{19}$.

Наименьшие величины Δ и α соответственно будут числами порядка n×10-3. Мы увидим, что эти числа не случайные.

Таблица 1

Примеры величин Δ и α

Бактерии	Δ	α
Bacterium coli comm.	61,27	$2{,}78\times10^{18}$
Vibrio cholerae asiat.	61,02–62,47	$2{,}2\times10^{18}$–$6{,}4\times10^{18}$
Bacillus ramosus	53,33	$1{,}16\times10^{16}$
Диатомеи		
Nitzschia putrida	4,8	26,8
Среднее для морских диатомей (планктон)	0,5	0,41
Piridineae		
Среднее для *Ceratium* (планктон)	0,25	0,19
Phytomonadina		
Eudorina elegans	0,79	0,72

Heliozoa		
Actinophrys	1,25	1,38
Инфузории		
Paramaecium aurelia	1,78	2,32
caudata	1,09	2,12
Leucophrys patula	7,0	127,0
Dicotyledonae		
Trifolium repens	0,016	0,0088
Solanum nigrum	0,04	0,029
Пшеница (среднее для Франции)	0,019	0,013
Mammalia		
Sus scrofa	$0{,}9–2{,}25\times10^{-3}$	$0{,}5–1{,}5\times10^{-3}$
domestica	$9{,}7–10{,}6\times10^{-3}$	$6{,}7–7\times10^{-3}$
Mus decumanus	$9{,}6_{(\text{мин})}\times10^{-3}$	6,6×10-3
Eiephas indicus	$0{,}096\text{-}0{,}4\times10^{-3}$	$0{,}067\text{-}0{,}07\times10^{-3}$

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, что это число приблизительнои 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 м 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 правилу 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.

X

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 неизученных нами благоприятных условий среды, начинают размножаться. Мы можем в та-ком 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 предмета, зацепившегося за препятствие. Энергия тяготения не перестает действовать, но форма се стала потенциальной. Препятствие исчезает — падение будет итти 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:

$$S/k = N_{st}$$

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 выделяют площади скал сплошь покрытые мхами или лишайниками, дает целинная степь, нетронутый 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 удается 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 пли средним ареалом обитания отдельного организма.

Здесь существует уравнение:

$$N_{mx} = S/k = 5 \times 10064 \times 10^{18}/k\,,$$

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 безграничною, 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:

$$M = p\,N_{mx}$$

где p — средний вес организма.

Величина M дает количественно определенное, количественно сравнимое для разных организмов представление о той химической работе, какую 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 — *скоростью 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 темном (зависит от неизменных предельных Δ или α).

XIII

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 × 1018 см^2.

Оно должно отвечать формуле:

$$\varepsilon = 18{,}70762 - \lg k / \Delta \times \lg 2$$

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
Зелёный планктон (среднее)		168-183
Большие водоросли (среднее)		17832-28931 (49-79 лет)
Бактерии:	*Vibrio cholerae*	Около 1,25
	Bacterium lyphi	» 1,8
Инфузория:	*Leucophrys patula*	10,6 (максимум)
Диатомовые:	*Nitzschia putrida*	16,8 (максимум)
Инфузории:	*Paramaecium caudata*	31,8-67,3
	P. aurelia	42,7 (среднее)
Schyzophytae:	*Anabacna baltica*	112-143
Насекомые:	*Culex pungens*	203
	Aphis mali	392
	Musca domestica	366
Цветковые растения:		
	Trifolium repens	4076 (больше 11 лет)
Рыбы:	*Clupea harengus*	2736-4485 (7-12 лет)
	Pleuronectes platessa	2159 (около 6 лет – максимум)
	Gadus morrhua	1556 (больше 4 лет – максимум)
Птицы:	Куры	5600-6100 (15–18 лет)
Млекопитающие:	Крысы	Около 2800 (около 8 лет)
	Домашняя свинья	» 2800 (больше 8 лет)
	Дикая свинья	» 20628 (более 56 лет)
	Слон	» 376000 (более 1000 лет)

XIV

Очевидно, передача геохимической энергии, при полном выявлении свойственной данному однородному живому веществу (виду, расе или подвиду) действенной ее формы, тоже совершится для каждого из них в ε дней, *причем передача должна итти 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 40075,721 км или $4{,}0075721 \times 10^9$ см.

По экватору же передается — в течение ε. 86400 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 *r — скоростью передачи жизни на нашей планете* [скоростью заселения] — правильнее — передачи ее геохимической энергии. Она равна:

$$v = 46383{,}931 \lg(\alpha + 1) / 18{,}70762 - \lg k = 46383{,}931 \lg 2 \times \Delta / 18{,}70762 - \lg k$$

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 поверхности[1]. По отношению к геохимической энергии всякого живого вещества оно может играть роль индикатора. Когда в своем размножении организм — всякий — пройдет по одному направлению расстояние, равное 40075,721 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

[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 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 отличатся от принятого астрономического экватора нашей планеты.

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 итти с одной и той же скоростью, так как величина v зависит только от неизменных для данного вида максимальных величин Δ 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 буду 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. 5×10^{-5} см), k будет равным 10^{-8} см^2; для рыбы длиной в 100 см и толщиной в 20 см к будет равным 10^4 см^2.

Значительная часть моих подсчетов основана на таком определения 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 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 неслучайны. 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 k3 является числом огромного биологического значения. Оно дает для v очевидно, гораздо большие числа, так как вычисленпые 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.

Таблица 3

Некоторые значении k_1 и k_3

	k_1	k_1
Индийский слон	5×10^5	3×10^{12}
Пчела	4–5	$2{,}5\times10^6$
Пшеница	2–4	25–35
Овцы (Шотландия)	$2{,}25\times10^4$	4×10^7

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 $n10^9$, 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 плодотворно.

Таблица 4

Величины *r*

Виды организмов	*r* в *см/сек*
Elephas indicus	0,096-0,1
Sus scrofa	0,9-2,25
Cicada septendecium	1,03
Большие водоросли (среднее)	1,6-2,5
Кокинхинские куры	7,5-8,2
Mus decumanus	9,6 (минимум)
Пшеница (среднее)	9,7-10 (для k_3)
Sus domestica	9,7-10.6

Clupea harengus	10,4-17,9
Pachytylus migratorius	11.3
Trifolium repens	11,38
Leuciscus idus	15,1
Gadus morrhua	26,5-29,7
Musca domestica	126,5
Планктон пиридиней (среднее)	166-176
Зеленый планктон (среднее)	246-273
Culex pungus	336,8
Paramaecium caudala	689-1456
Noctiluca noctiluca	698-1417
Paramaecium aurelia	1083,3 (среднее)
Glaucoma pyriformis	1408-1760
Bacillus ramosus при 5° С	2127
Nilzschia putrida	2688-2745
Bacillus subtilis	24866
Bacillus ramosus (для оптимума)	29538
Vibrio cholerae	33100 (до 37350?)

В табл. 4 сведено несколько примеров вычисленных скоростей передачи жизни для самых различных организмов.

Остановимся на последней величине, отвечающей *v*, вычисленной для бактерий.

Полученое число очень замечательно. Оно близко для *Vibrio cholerae* к 33,100 см/сек. Это *скорость звука в воздухе*, т.е. в среде дыхания организмов.

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.

XIX

Бактерии занимают замечательное положение в царстве жизни. Это организмы наименьших известных размеров, с наибольшей быстротой размножении. 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:*

$$86400 / \Delta = \tau$$

Очевидно, этот период 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, невидимому, не имеют в этом отношении того значения, какое они приобретают, например, в клетках Metaphyta и Metazoa. Очевидно, не может быть бесконечно малым и, повидимому, для бактерий оно близко к предельной возможной для организмов величине.

В сводках по бактериологии указываются для величины 17—20 мин. как наименьшие. Однако, это, повидимому, единичные наблюдения, но не средние величины, характеризующие процесс деления. Повидимому, *средние величины* не спускаются ниже

22,60 — 1320 сек

и

23,60— 1380 сек

Эти величины τ отвечают определенным величинам Δ, α и N_{mx}. Число генераций Δ лежит между 63–64, α — между $I0^{18}$–10^{10}, 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 61, а τ меньше 1320 секунд 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 о*чевидно 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.

XX

Оно имеет значение еще потому, что *предел величине* τ так же как наименьшему размеру организмов и наибольшему их размножению, — в*сем 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 итти непрерывный ток газовых молекул в данный организм и из данного организма.

Быстрота размножения, связанная с созданием новых органических соединений, невидимому 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 водном объеме пространства.

Мы знаем, что оба эти свойства газов очень определенны 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 следующего 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} см^3 (т. е. 1 μ^3), диаметр его неделимых будет в среднем равен $1{,}24 \times 10^{-4}$ см, а для бацилл холеры толщина палочек не превышает 5×10^{-5} см.

В газовом обмене этих организмов мы имеем, таким образом, дело с сложными биофизикохимическими 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 — итти между газовыми молекулами размера 10^{-7} и организмами порядка меньше 10^{-5} 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, находящуюся 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 $2{,}706\times10^{-19}$.

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 $2{,}7\times10^{19}$ есть максимальное их количество в пустом пространстве. Сферический организм, по размерам равный бактерии диаметра 1.24×10^{-4} см (объем 1×10^{-12} см^3), может дать путем размножения 10^{12} неделимых в этом объеме. Мы должны признать из наблюдения, что отношение 10^{12} *бакт* / 10^{19} *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 получаются 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 $v = 33100$ см/сек определяет и предельную величину Δ (число поколении 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 об-

мена 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 Metaphyta, 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 итти, 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, невидимому, не зависят от живого вещества[1]. Все остальные газы находятся в ничтожных количествах. Вторым фактом является исключительно биохимическое происхождение того газа, который является основным газом, поддерживающим дыхание — свободного кислорода[2]. Наконец, третьим фактом 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 $pv^2/2$, где будет средний вес того вида, скорость аселении 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.

Выраженная на гектар кинетическая геохимическая энергия какого-нибудь

---

[1] Может быть, сюда же относится CSO.

[2] Это биохимическое происхождение верно не только для кислорода, но и для азота тропосферы. См. В. Вернадский [2].

вида будет выражаться уравнением:

$$pv^2/2 \times 10^8/k = A,$$

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:

$$_1 A = const.$$

Так как *вес* организмов нам точно не известен, а удельный вес организмов близок к единице, это уравнение может быть написано иначе:

$$\alpha p'/2 \times v^2 \times 10^8/k_1 = A_1,$$

где p' — объем, α — удельный вес организма.

Для α=1 мы имеем:

$$p'v^2/2 \times 10^8/ k_1 = 3{,}534525 \times 10^{12}\ CGS.$$

Вообще же:

$$\alpha p'v^2/2 \times 10^8/ k_1 = 3{,}534525 \times 10^{12}\ CGS.$$

Это постоянство на гектар геохимической кинетической энергии является общим явлением для всех Protozoa и Protophyla.

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 А для протистов должно дать нам возможность вычислять *a, 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 *a*, 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 Protophyla 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 прибли-

жается 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 отвечающие 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

$v^2 = 1{,}35922 \times 10^5/D$

$\Delta_2 = \varepsilon\,(C - \lg 2D)^2/B_1^2 \times D$

Здесь D — Диаметр шара,
$\varepsilon = 1{,}35922 \times 10^5$,
C=18,70762,
$B_1 = 46383.93 \times \lg 2$.

Для цилиндрических организмов

$v^2 = 1{,}35922 \times 10^4/D_1 = 45000/D_1$

$\Delta_2 = \varepsilon^2\,(C - \lg 2D_1H)^2/B_1^2 \times D_1$

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 Δ_{mx} суточных поколений протистов при их делении

П р о т и с т ы	Вычисл.	Наблюд.	Наблюдатели
Leucophrys patula	4,8–6,8	Около 7	Maupas
Stylonichia puslulata	4,65–5,11	» 5	»
mylilus	3,27–4,4	» 3	»
Stentor coeruleus	0,42–0,63	0,5	Grilber

Все эти вычисления велись в предположении, что форма данных тел сферическая. Очевидно, они должны были уже поэтому являться приблизительными. 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 но крайней мере из произведенных мною до сих пор вычислений, величина *A* не достигает порядка 10^{12} *CGS* на гектар. Она всегда *меньше*, повидимому 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 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 непреоборимой неизбежностью ставит перед ученым проблемы философского значения, к тому же еще не охваченные систематической 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 замениться 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 сочетании. Движение живых веществ на поверхности планеты благодаря размножению — перенос на ней ими выработанной энергии — так же неизменны, так же определенны и так же могут быть вычислены, как движения 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 должно также охватить область живого на нашей планете, как оно охватывает область больших явлений космоса.

В этом отношении между живым и косным нет разницы.

---

[1] Я употреблял здесь и 1926 г. выражение «одного механизма» [2].

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 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 организованностью[1], 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, повидимому, непреоборимом 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 путем.[2]

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

---

[1] В 1926 г. я писал «механизмом».

[2] О взрыве научного творчества см. ст. В. И. Вернадского [18].

сущею 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 тот элемент научного миропонимания, который резко отделяет проявлявшееся научное мировоззрение ближайшего будущего от уходящего от нас все дальше и дальше представления о мире слепого случая, царившего в дни нашей юности.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ВЕЛИЧИН (Δ, V, E) ОДНОЛЕТНИХ ЦВЕТКОВЫХ РАСТЕНИЙ[1]

1

Для определения геохимической энергии однолетних цветковых растений с половым размножением могут служить следующие формулы:

$$\Delta = \frac{\lg q}{365\lg 2} = \frac{\lg q}{109{,}87595},$$

где q — среднее количество семян в одном растении.

Эта формула отвечает обоеполым растениям. Для растений, где полы разделены (при условии, что число женских особей равно числу мужских):

$$\Delta = \frac{\lg q/2}{109{,}87595}.$$

Зная Δ можно вычислить скорость передачи жизни[2]:

$$V_1 = \frac{13962{,}96\ \Delta}{18{,}70762 - \lg k_1}\ \text{см/с}.^{3}$$

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:

$$e_1 = mV_1^2/2,$$

$$e_3 = mV_3^2/2,$$

где m — средний вес живого растения, когда оно находится в почве.

---

[1] Опубликовано в: Наставления для определения геохимических постоянных. Л.: Изд-во АН СССР, 1926. 9с. Печатается по изданию: Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

[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 $V_1 = \frac{13962{,}95445}{\Delta\ 18{,}70762 - \lg k_1}$ см/с.

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.*

3

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 ойкологическое 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 протистов.[1]

4

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] Величина A исчисляется на гектар. Она равна: $A_1 = mv_1^2/2 \times 10^8/k_1$ CGS, $A_3 = mv_3^2/2 \times 10^8/k_3$CGS.

Отмечается *время,* когда растение *выкапывается из земли.* Так как необходимо вырывать много растений, то отмечается *время* (часы и минуты) вынутия из земли первого и последнего растения из тех, которые взвешиваются одновременно.

Растения кладутся на большие весы (например, хорошие робервалевские), 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 минут, оставляя растения на весах, делается второй отчет веса (*b*), через 15–20 минут — 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.*

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:

$$d/N = m,$$

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 $t = p + (s - p)/2$ (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.

---

[1] Это можно сделать только в том случае, если три первые определения веса – a, b и c – лежат на оной прямой.

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.

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:

$$k_3 = S / N \text{ см}^2,$$

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 $к_3$ 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 различение 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) и 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.

8

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 °C, 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 цвету, 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 неизмеряемого обычно веса *m*, а не по отношению к случайным весовым количествам.

9

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.

Это 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 значение[1], 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, Papillionaceae.*

Прага Декабрь, 1925

[1] Литературные указания см. в моей статье в «Природе». Л., 1925 и в печатаемой книжке «Биосфера» (Л.,Науч.-хим. техн. изд-во).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ (ВЕЛИЧИН Δ, V И E) НЕКОТОРЫХ ГРУПП НАСЕКОМЫХ[1]

1

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 формам[2] .

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:

$$V_1 = \frac{13962{,}95445\ \Delta}{18{,}70762 - \lg k_1}\ см/с,\ V_3 = \frac{13962{,}95445\ \Delta}{18{,}70762 - \lg k_3}\ см/с,$$

$$e_1 = mV_1^2/2\ CGS,\ e_3 = mV_3^2/2\ CGS.$$

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).

---

[1] Опубликовано в: Наставления для определения геохимических постоянных. Л.: Изд.-во АН СССР, 1926. 12 с. Печатается по изданию: Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 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.

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 личинки[1], или куколки, или совершенного насекомого.

Поэтому желательно иметь отдельно средние веса всех стадий организма[2].

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, 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_{1min} и k_{1max}

---

[1] В очень многих случаях личинки в геохимических явлениях имеют гораздо большее значение, 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 получения e этот метод определения r менее удобен, k_1 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 $V_з$ и $e_з$ 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

$$k_3 = \frac{\prod t^2}{N}.$$

Для паразитов k_3 имеет всегда очень определенное значение — оно равно площади, занимаемой на земной поверхности проекцией размеров их хозяина. Другими словами: k_3 паразита = k_1 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 $k_{з\ паразита}$ и $k_{з\ хозяина}$ 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 отделу 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: $f/m = 1$.

$$\Delta = 0{,}00274/m^1 + \frac{g \lg q/2}{109{,}87595}$$

В пределе можно взять:

$$\Delta = \frac{\lg q/2}{109{,}87595}$$

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 узнано или наблюдением реальных кладок, или подсчетом яиц в самке, как это уже делали старинные энтомологи. Чем ближе q к средне-

му числу (т.е. чем для большего количества неделимых оно определено , тем Δ определено[1] 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).

$$\Delta = 0{,}00274/m^1 + \frac{g \lg q/2}{109{,}87595}$$

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:

$$\Delta = \frac{g \lg q/2}{109{,}87595}$$

Очевидно, и здесь количество яичек 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 g — 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 бесполыми, необходимы для вывода Δ данные об α — количестве яичек, откладываемых царицей-маткой в год, и r — количество роев в год[2].

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 коли-

---

[1] Желательно определить его для 300–400 неделимых, что очевидно, практически очень затруднительно.

[2] Мы видел, что для этих насекомых необходимо для k3 зание среднего населения улья или пасеки.

чественные определения видовых и подвидовых признаков и их вариаций в связи с географическими условиями и биоценозами:
m — средний вес живого неделимого отдельно в его imago, личинке и т.д.;
m_1 — максимальный (граммы) из этих весов для данного вида или подвида[1];
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.) ; (Обозначения звездочкой касаются социальных насекомых)
**t*— наибольшее (среднее) расстояние ареала этого поселения (сантиметры) (Обозначения звездочкой касаются социальных насекомых);
g — количество яичек, откладываемое одним неделимым для рождения следующего поколения;
q — количество поколений в год;
ж— отношение между числом женских и мужских особей;
*α— количество яичек, откладываемых царицей-маткой в год; (Обозначения звездочкой касаются социальных насекомых)
**u*— количество роев в год. (Обозначения звездочкой касаются социальных насекомых).

7

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:

$$A_1 = 10^8\, e_1/k_1\ CGS \text{ и } A_3 = 10^8\, e_3/k_3\ CGS$$

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 нахождение[2].

Прага
I. 1926

---

[1] Когда m^1 неизвестен, надо брать в расчет вес imago.

[2] 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.

О НОВЫХ ЗАДАЧАХ В ХИМИИ ЖИЗНИ[1]

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 физикохимических 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 из 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.

Позволяю 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.

---

[1] Труды Бальнеологического института на Кавказских Минеральных Водах, 1927, т. V, стр 3. Лекция прочитанная в Ессентукской клинике Бальнеологического института Кавказских Минеральных Вод в Ессентуках в августе 1926 года. Печатается по изданию: Биогеохимические очерки. 1922-1932 гг./В. И. Вернадский. — М.-Л.: Издательство АН СССР, 1940. с. 95-107.

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 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 *представлении об атоме.*

«Мельчайшее неразделимое 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 анергией для нас сейчас исчезла; взятый отдельно атом не являет нам столь привычных свойств материи — жидкой, твердой или газообразной. Материя в известных и всем нам ясных свойствах есть совокупность атомов. Сам атом, ее строящий, не есть материя, не есть «материальное» тело [1, стр. 8.]

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 на ряду с точно установленными, научно верными данными заключаются идеальные построения нашего ума, без которых мы не можем итти — 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. Рёзерфорда 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. Дж. Томсона аналогична идее И. Ньютона, 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 тяготения[1].

Аналогии 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 частью[2].

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, впсяшие 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, прячем 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 — долж-

---

[1] Ньютон сам не говорил о «всемирном тяготении» и иначе понимал свои основные научные выводы. См. стр. 198

[2] Масса электрона равна $5{,}4\times10^{-5}$ части веса водорода. Для самого богатого электронами атома (уран) масса его электронов будет равна 1/5000 веса этого атома.

но заключаться 53000 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 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. 3×10^{-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 элемента[1]. Этот его вывод получил окончательное подтверждение в этом году; еще в 1924 г. оставались неоткрытыми 5 простых тел — элементы[2] № 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 нахождение их в небесных телах, для атомов, более тяжелых, чем уран, мы итого не имеем[3].

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.

---

[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 становится все более сомнительным. Возможность существования элементов более тяжелых, чем уран, проверяется сейчас опытом

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.

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 прав[1].

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 атоме[2]. 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 упо-

---

[1] Выяснилось, что установленное Д.И. Менделеевым правило пропорциональности может быть теоретически верно, несмотря на эти отклонения: если брать наиболее легкие изотопы, указанная правильность сохраняется.

[2] Различие химических элементов по количеству таких электронов было указано гипотетически Ван-дер-Бреком. Г.Мозли исходил 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.

минания. 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.

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. Л. 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 атомов[1].

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

[1] Сейчас ясно, имея ввиду «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.

новых представлении в человеческую мысль. Он объяснил явление радиоактивности через 10 лет после ее открытия вместе со своим учителем Рёзерфордом — как распадение химического элемента и отвечающего ему атома. Открывшие это явление Пеккерель и супруги Кюри[1] этого не понимали: не сознавали 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 (ισος — равный, τόπος — место), что они занимают одно и то же место в периодической системе.

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 числа[2] 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 свинцов[3], а именно:

203	
204	
205	
206	Урановый свинец
207	Актиниевый свинец
208	Ториевый свинец
209	
210	RaD
211	AcD
212	ThB
214	RaB
207,2	Обычный свинец

[1] М. Кюри независимо поняла причину радиоактивности [1939].

[2] Надо, однако, иметь ввиду, что этот вывод Ф.Астона не может считатся установленным для иода (атомный вес 126,92) и фосфора (атомный вес 31,02). Ф.Астон не мог доказать смеси изотопов.

[3] В 1935 г. это число должно быть значительно увеличено. Если принимать магнето-оптические измерения Аллисона и его помощников, количество свинцов превысит 20.

Из этих свннцов 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. Непадкевич выделил этот свинец из минералов Карелии На Цейлоне в торианитах найдено несколько процентов ториевого 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][1]. Так, путем долгих физических операций — дестилляции, 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.][1] 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, повидимому, 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 другие[2] . К этому вопросу мы еще вернемся.

---

[1] Разделение производится для многих случаев пока в небольших количествах – для изотопов Ne, O, H и т.д.

[2] Для водорода и кислорода ныне открыты изотопы.

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, геохимии[1]. 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 итти только по отношению к совокупности организмов, а не по отношению к отдельным неделимым.

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 коры.[2]

[Это отличие резко бросается в глаза в валовом химическом составе. Возможны отличия по отношению к явлению изотопов.[3]

В докладе 1927 г. я указывал на отличие, которое оказалось кажущимся, именно — на преобладание в живом веществе химических элементов чистых, т.е. состоящих из одного изотопа. Такими тогда казались H, O, N, C — наиболее важные органогенные элементы. Это представление не подтвердилось. Для всех них были открыты изотопы на протяжении 1929–1935 гг., частью устойчивые, такие же. как и для остальных элементов (H, O, N), частью легко получающиеся под влиянием процессов, проникающих в нашу земную среду, изотопов скоротечных, но которые должны постоянно создаваться и разрушаться в земной

[1] Сейчас надо говорить и о радиогеологии.

[2] В квадратных скобках дан текст 1935 года.

[3] Be и He.

коре, особенно в биосфере (может быть исключительно в ней),—таковы изотопы N и C.[1] 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 но отношению к обычному кислороду — 0^{16} — близкое к 0,2 %. В связи с этим текст речи 1927 г. в этом месте изменен.

Как указано было раньше [3] 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.

Ничто не указывает, чтобы это было каким-нибудь специфическим свойством атомов водорода. Большее 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 сохранялось то же отношение изотопов водорода, которое наблюдается для поверхностных вод планеты, для которых пока имеются сведения[4].

---

[1] Сейчас открыты и постоянные изотопы (1939).

[2] Живые семена споры и некоторые высушенные организмы (например Tardigrada) в латентном состоянии содержат 5-12% воды.

[3] См. с. 84 и сл.

[4] Эта проблема поставлена в Биогеохимической лаборатории Академии Наук

Возможно еще, что в живых веществах мы встретимся с чистыми, лишенными или очень обедненными тяжелыми изотопами O, N, C[1].

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 споей 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 хранение 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 неизменными (смеси изотопов иного состава от обычных элементов или чистые изотопы),

---

[1] По данным многих биологов (например, академика НАН Украины Д.М. Гродзинского) живые организмы, особенно растения, избирательно относятся при обмене веществ с окружающей средой к изотопам элементов (водорода, углерода, кислорода серы), избегая тяжелых изотопов. Вероятно, это может быть связано с тем, что обмен веществ растения осуществляют преимущественно через воду и у них есть возможность использовать либо чистую подземную воду (не загрязненную дейтерием и тритием, ^{13}C, ^{18}O), либо могут выбирать обедненную тяжелыми изотопами поверхностную протиевую воду, которая образуется при начале плавления льда и снега весной (при температурах менее 4 $^{\circ}C$). В то же время человек и животные используют загрязненный тритием воздух и воду; наблюдается фракционирование изотопов водорода в водно-болотной растительности природно-техногенных экосистем с накоплением тяжелого изотопа - трития (см. Долін В.В., Пушкарьов О.В., Шраменко І.Ф. та ін. Тритій у біосфері / за ред. Е.В. Соботовича, В.В. Доліна. – К.: Наук.думка, 2012. – 223 с.) . Отсюда вывод: гипотеза В.И.Вернадского об способности живых организмов разлагать смеси изотопов и избирать из них преимущественно легкие частично подтверждается, однако необходимо провести дальнейшие исследования этой проблемы. Прим. ред.

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 биосфере [1; 11] .

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», образующемся 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, повидимому, 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 [11, стр. 118 и сл.], 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 грязях. 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, отлагаемый скелетными частями организмов, главным образом водными, — имеет свою историю, входит в состав осадочных пород — известняков — является важной частью общего геохимического цикла этого элемента. Одинаков ли кальций в этих обоих случаях? Это может решить только опытное ис-

следование. 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[2] 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 так же 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 пытливость. Это вопрос об абиогенезе и о самопроизвольном зарождении. Для огромного большинства натуралистов старое положение, высказанное в XVII столетии Ф. Реди и получившее в начале XVII века формулировку, ныне обычную, впервые данную ему проф. Л. 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.

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

---

[1] Сейчас есть указания на другие – более редкие изотопы.

[2] В 1927 году было напечатано «механической»

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-Бэром. 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 вы-

зывает 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 физическим.[1]

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 физикохимических 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 — физикохимических 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 радиевом 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, *n* (неточность – нужно сверится с оригиналом) , 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 [см. стр. 188, 201].

При положительном ответе — сразу возникают многочисленные новые во-

[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.

просы и в том числе вопросы медицинского характера. Всякий ли кальций действует в его многочисленных сейчас терапевтических применениях, в том числе таких, которые объясняются действием нона кальция, пли действует только одни изотон, 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 — в виду 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 этом отношении изучено и живое вещество.

В частности, нас здесь должны особенно занимать органические вещества минеральных вод. Какое они оказывают влияние на благодетельную 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.

БАКТЕРИОФАГ И СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ЖИЗНИ В БИОСФЕРЕ[1]

Характерной чертой современной научной картины мира должно считаться 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 вехами: мы должны всегда считаться с ними в нашем научном мышлении. Размах этих величин чрезвычаен. Самая далекая звездная система, улавливаемая нашими приборами, отстоит от нас на расстоянии порядка $n\times10^{26}$ см. Самое мелкое тело — ядро атомов — протон,— существование которого мы должны допускать, достигает размеров порядка $n\times10^{-13}$ см. В этих пределах, 10^{26} и 10^{-13} см, помещаются до сих пор известные тела природы.

Наша единица — сантиметр — есть единица произвольная (см. стр. 198]. Размах наблюдаемых явлений лучше определяется *более мелкой единицей* — назовем ее единицей α. В данный момент развития научного знания удобнее всего взять а равной 1×10^{-13} сантиметра, т. е. 1×10^{-6} микромикрона (10^{-6} μμ), т. е. 1×10^{-5} ангстрема (10^{-5}A). Выраженный в размерах этой единицы α, одной стотысячной ангстрема, наш мир дает колебания тел природы от 10^{1}α до 10^{39}α.

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 непререкаемо 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 скоплению 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 микромикронов до сотен метров).

---

[1] Впервые опубликовано в: «Природа», 1927, №6 С. 433–446. В дальнейшем опубликовано в: Биогеохимические очерки. М.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 118–125. Печатается по изданию: Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

Мы не имеем сейчас точных данных для выяснения верхней границы — чисел порядка 10^{18} α, но мы уже можем подойти к выяснению низшего предела величины организмов — к числам порядка 10^7 α.

III

Здесь мы подходим к числам чрезвычайного значения в строении мира. 10^7 α — миллионные части сантиметра — определяют предельную наименьшую величину живого неделимого. 10^6 α — десятимиллионные части сантиметра — определяют поля действия («размеры») *молекул*[1]. 10^5 α — стомиллионные части сантиметра — определяют поля действия («размеры») атомов. Именно 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 10^7α. Живые организмы, молекулы и атомы сходятся в одной и той же определенной полосе мироздания.

Особое значение в строении мира размеров 10^5α–10^7α 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. 10^5α–10^6α — мир атомов и молекул, первостепенное значение которого в строении космоса неоспоримо. 10^7 α — начало мира жизни. Случайна ли такая близость?

IV

В мир естественных тел порядка 10^7α организмы, несомненно, входят. Мельчайшие видимые в микроскоп организмы — бактерии — микробы — достигают нескольких единиц порядка 10^8α — десятых долей микрона.

Едва ли можно сомневаться, что за этими пределами существуют живые тела — ультрамикробы порядка немногих единиц 10^8α или многих единиц порядка 10^7α. Предел зрения наших ультрамикроскопов 6×10^7 α — 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

---

[1] Эти размеры вытекают из числа Авогадро (Лошмидта); они связанны с тем, что число газовых молекул, определяемые изучением отдельных физических явлений, значительно меньше и лежат в порядке 10^5α. Порядок 10^5α должен отвечать максимальному пределу величины молекулы.

которых находятся за пределами видения ультрамикроскопов. Их размеры отвечают $2\times10^7\alpha$ –$3\times10^7\alpha$ — двум-трем сотым микрона. Электронный микроскоп уже позволяет итти 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[1]

Бактериофаг — *Protobios bacteriophagus* d'Her — по представлению Ф. д'Эрелля есть мельчайший организм, размером порядка $2\times10^7\alpha$–3×10^7 α, питающийся бактериями. Исчезновение из поля зрения — «растворение»— бактерий, поедание видных в микроскоп организмов (бактерий) невидимыми (бактериофагами) является 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'Эрелля находит все больше и больше сторонников, новая его книга, должно быть, будет еще больше этому способствовать, все же оно не является общепринятым, и продолжаются попытки объяснить эти явления без участия организмов, питающихся бактериями.

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

[1] В 1926 году вышел русский перевод, сделанный с первого издания, работы Ф. д'Эрелля. Очевидно, это издание сейчас не представляет никакого интереса, оно уже устарело.

образом подходит к вопросам, связанным с геохимической энергией жизни, над которыми я работаю, и позволяет проверить некоторые из сделанных мною при этом выводов [1, 11, стр. 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 [11, стр. 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 $n\times10^{8}\alpha$, и бактериофаги: $n\times10^{7}\alpha$.

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 итти в поле, регулируемом 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[1]. 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 (темп 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 33000 –34000 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.

---

[1] Было «передачи жизни»

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 возражениями не меняет этого заключения. Действительно, факты, кажется, говорят за реальное существование бактериофагов, организмов порядка $n \cdot 10^7 \alpha$.

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 40–60[4].

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 100000 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.

IX

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 их тело, их органы. Единственная взятая проба океанической воды, однако, их не указала.[1] При таком их распространении харак-

[1] Бактериофаги находятся и там.

терно 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, 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 $5^1/_2$ часа один бактериофаг может дать около 1500000 неделимых, причем бактерии соответственно исчезают.[1]

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 33000–34000 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.[2] В конце концов, 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 гео-

[1] Можно вычислить приблизительно темп такого размножения: коэффициент Δ значительно выше 100 (больше 125).

[2] Для $\Delta = 100$ и при диаметре бактериофага, равном $2 \cdot 10^{-6}$ см, величина $v = 228694$ см/с.

химическая энергия жизни достигла максимально возможного проявления; избыток ее находится в потенциальном состоянии. Назовем это состояние равновесия состоянием А.

Если в эту среду попадет хотя бы один бактериофаг (размерами 2.10^{-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 В, в котором вся геохимическая энергия жизни находится в потенциальном состоянии[1].

При неизменности внешних условий среды в обоих случаях и бактерии и бактериофаги должны оставаться в таком состоянии неопределенное время.

Наблюдается всегда переход:

А→В	
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 $n\times10^{-3}$—$n\times10^{-8}$ %; 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 $n\times10^{9}$, бактериофаги — порядка $n\times10^{11}$.

Жидкость, переполненная бактериями, — мутная, тельца их резко меняют ее характер; жидкость, содержащая бактериофаги, так же прозрачна, однородна и обычным путем не отличима от жидкости, их лишенной, как неотличим на вид от чистой жидкости ее соленый слабый раствор, содержащий ионы элементов.

---

[1] В действительности процесс гораздо сложнее. Разные бактерии разно сопротивляются бактериофагу. Проходит 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 протобактерии. 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 находится в латентном состоянии спор. Наблюдения Ф. д'Эрелля этому не противоречат

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 $10^7\alpha$ (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 наших 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. Идет, по-видимому, расширение поля жизни [11. стр. 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.

О ПРОДЕЛАННОЙ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИЕЙ РАБОТЕ ПО АНАЛИЗУ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА[1]

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 K, Ca, 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 C, N, H, S, P, Fe, AI, Mg, Ca, K, Na, Ti, Si, Cl, Mn. Для определения O_2 придется выработать новый метод, а пока возьмется O_2 по разности. В случае благоприятных обстоятельств будут определены S, Fe, Br, Cu, Zn. Выяснилось, что методов консервирования живого вещества, которые бы в дальнейшем допускали анализ на C, 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 Ur 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

---

[1] Приложение к протоколу IV заседания ОФМ Академии наук СССР от 23 февраля 1927 г. Изв. АН СССР. Сер. 6. 1927. Т. 21, № 18. С. 1589 — 1591. Печатается по изданию: Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

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 потребуется 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 потребуется 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 представлю 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

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ ЖИЗНИ В БИОСФЕРЕ[1]

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.

Это 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 лет[2] согласно определенным законам.

Больше 120 лет тому назад гениальный естествоиспытатель Г. 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 потому 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 обычные 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].

---

[1] Доклад, читаный во время «Недели русских естествоиспытателей» в Берлине, 23 июня 1927 года. Напечатан был по-немецки в «Zentralblatt für Mineralogie» Abt. B.L. 1928, p. 583-594. Печатается по изданию: Биогеохимические очерки. 1922-1932 гг./В. И. Вернадский. — М.-Л.: Издательство АН СССР, 1940. с. 126-134.

[2] Более 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 суши[1]. 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.*

---

[1] О границах биосферы в современном (1935 г.) понимании см. [3].

Биогенная миграция элементов и соответствующая им геохимическая энергия количественно различны и характерны для каждого организма, для каждого вида животных и растений.

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 (1.5×10^{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, чтоб 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 стотысячная 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 разложении угольной кислоты. Присутствие одного обусловливает 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 миграции атомов представляет форму организованности[1] 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.

1 В 1928 г. было напечатано «механизм».

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 энергия.[1] 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.

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.

---

[1] Также средняя константа характера пространства (правизны — левизны)

Хотя точные количественные отношения, существующие между этими двумя различными геохимическими проявлениями энергии размножения, до сих пор нам неизвестны, — 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 удовольствоваться 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.

V

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 прогрессии[1].

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.

VI

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 и приведу только два таких представления — k_1 и k_3 . Первая площадь — k_1, (в квадратных сантиметрах) соответствует наибольшей мыслимой густоте

---

[1] Тут возможно применение понятия о потенциальном и активном состоянии геохимической энергии. Потенциальную геохимическую энергию можно считать безграничной (так же как и прогрессию размножения организмов). В таком случае максимальное число организмов соответсвовало бы наличию активной, реальной, геохимической энергии. Эта активная геохимическая энергия должна была бы иметь границы. Но это представление заключает 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.

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 длине 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)

$$k_1 = 5 \times 10^5 \text{ (в см}^2\text{)},$$

$$k_1 = 5 \times 10^{12} \text{ (в см}^2\text{)},$$

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:

$$_1M_{\text{mx}} = S/k_1 \quad (1),$$

$$_3M_{\text{mx}} = S/k_3 \quad (2),$$

где S — поверхность Земли, т. е. $5{,}10065 \times 10^{18}$ 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 геохимическая энергия вида, вызывая миграцию земных атомов, растекается по 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 (86 400 ε). Само собой разумеется, что ε будет иной для $_1M_{mx}$, именно ε_1, и для $_3M_{mx}$ именно ε_3.

Для многих биологических и геохимических проблем удобно выразить это движение геохимической энергией иначе, т. е. в 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 $4{,}0075721 \times 10^9$ см. Так как- это расстояние может быть пройдено в ε дней, то $D/\varepsilon = V^1$ 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 (см. также стр. 164) играет большую роль в геохимических проблемах и должна быть рассматриваема как геохимически важная постоянная величина. Она равняется:

$$V_1 = \frac{4{,}63050 \times 10^4}{\varepsilon_1}\ , \textit{см/сек}$$

$$V_3 = \frac{4{,}63050 \times 10^4}{\varepsilon_3}\ , \textit{см/сек}$$

VIII

Длительность процесса ε_1 и ε_3 за можно в каждом отдельном случае эмпирически высчитать, если из наблюдений известна густота населения (k_1 или k_3 см^2) и имеются количественные данные об условиях размножения.

Но возможно пользоваться одной общей для всех организмов формулой, если выразить закон размножении 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:

$$2^{\varepsilon_1}\Delta = {}_1N_{mx}$$

$$2^{\varepsilon_3}\Delta = {}_3N_{mx}$$

и для скоростей:

$$V_1 = \frac{13962{,}9545 \times \Delta}{18{,}70762 - \lg k_1}\ , \textit{см/сек}$$

$$V_3 = \frac{13962{,}9545 \times \Delta}{18{,}70762 - \lg k_3}\ , \textit{см/сек}$$

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 быстроте распространения звука в воздухе, она достигает для мельчайших видов бактерий приблизительно 33000–34000 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 воздействии жизни; необходимо еще принимать во внимание геохимические энергии роста и метаболизма.

При максимальном развитии геохимической энергии жизни нужно принимать по внимание взрослые организмы; работа, произведенная в силу полного растекания энергии размножения в биосфере, соответствует передвижению организмов, масса которых определяется средним несом 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 продолжение полного распространения геохимической энергии в биосфере.

Этого мы еще сейчас не в состоянии сделать.

X

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. отнесен-

ные 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 1 500, анализов же организмов, описанных видов которых насчитывается свыше 800000, 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 должны быть введена в нормальный план научного описания биологических явлений.

Я надеюсь, что это лишь вопрос времени.

ЭВОЛЮЦИЯ ВИДОВ И ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО[1], [2]

I

Жизнь составляет неразрывную часть организованности[3] биосферы. Это ярко выявляется при изучении геохимической истории химических элементов, для большинства которых процессы, идущие при участии жизни, — 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, разно 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 физикохимическим системам — отдельные виды животных и растений должны в геохимии характеризоваться и различаться *числовыми константами*. Числовые констан-

---

[1] Доклад читанный на заседании Ленинградского общества естествоиспытателей 5 февраля 1928 г. «Природа», 1928, №3, стр. 227. Печатается по изданию: Биогеохимические очерки. 1922-1932 гг./В. И. Вернадский. — М.-Л.: Издательство АН СССР, 1940. с. 135-146.

[2] В данной работе трактовка эволюции видов слишком широкая. И это вполне естественно, ведь статья написана еще до становления синтетической теории эволюции, появления трудов С.С. Четверикова, Ф. Добжанского, С. Райта, И.И. Шмальгаузена и других эволюционистов, которые сформировали основы учения о видообразования, главное положение которого заключается в том, что эволюция видов как необратимый процесс, прежде всего, протекает на молекулярно-генетическом уровне. Это означает, что возникающие фенотипические новации закрепляются исключительно генотипом. (С. В. Межжерин).

[3] В 1928 г. было «механизма».

ты заменяют морфологические признаки, указываемые биологами при диагнозе вида[1].

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 жизни[2].

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 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, повидимому, 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 к 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 $3{,}7\times10^{20}$, отвечая сотням квинтиллионов атомов. Эти большие числа реальны и сравнимы для разных видов.

---

[1] Согласно более современным концепциям вида (биологической и эволюционной) первоочередными критериями видовой обособленности есть признаки генотипа, уникальность аллельного состава, тогда как морфологические признаки (фенотипические) остаются основными в классической типологической концепции. Именно поэтому сейчас в систематике все большее распространение получает точка зрения на то, что признаки генотипа ведущие, а фенотипа ведомые, хотя на практике диагностика большинства видов строится по морфологии. (С. В. Межжерин)

[2] Также и характер, занятого организмом обьема (правизна – левизна).

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 но крайней мере с археозоя[1], 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 одни 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 геологической 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 нолей 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, повидимому, 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.

---

[1] Археозой устаревшее название эона Архея. Начало по абсолютным подсчетам 3500 млн. лет, конец действительно 2600 ± 100 млн. лет назад (С. В. Межжерин).

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 частностях, например, в явлениях выветривания, оставался одним и тем же, это указывает, что в *сложной [организованости] биосферы происходили в пределах живого вещества только перегруппировки химических злементов, 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, повидимому, 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 и 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[1]. Вероятно мы видим в этих чисто биологических явлениях проявление той же неизменности жизни в основном своем бытии на всем протяжении геологи-

[1] В данном случае речь идет о неизменности основных черт строения видов. Что касается эволюции на молекулярно-генетическом уровне, то преобразования, несомненно, имели место (С. В. Межжерин).

ческой 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, что бы 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[1] 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.

IV

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.

---

[1] В 1928 г. было «механизм»

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 останав-ливаться на том эффекте, который достигается в биосфере биогенной миграцией такого масштаба; я останавливался на нем не раз в последнее время и 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 по 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 — ото 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, захваченным 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, например, 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 свободного металла, как меняется лик Земли, исчезает девственная природа[1], [2].

---

[1] Бисофера переходит в ноосферу

[2] Устаревший термин, обозначающий период от возникновения человека до современности. Синонимичен понятию антропоген. (С. В. Межжерин).

Повидимому, 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 системы 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 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 устойчивому 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, повидимому, 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 и 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 биогеохнмическому 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 бногеохимического 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.

Но проявление биогенной миграции, обусловливающее ее геохимическую работу, связано не только с количеством захваченных ею в биосфере и 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 бногеохимического принципа сказывается в том давлении жизни,

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 обусловливается 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, приспосабливающихся 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 усилены и течение геологического времени. *Это совершено 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 длящееся 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 — 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[1], *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 зволюция 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 строе-

[1] Согласно Кодексу зоологической литературы видовые названия могут быть только двойными. В данном случае — *Homo faber* — человек новый (человек трудящийся, человек творец и т. д.) (С. В. Межжерин).

нием 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 сформулирован новый *биогеохимический принцип*, касающийся 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 итти 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[1] *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 итти эволюционный процесс. То же направление, вытекающее из данных наблюдения, 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 г. 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 зрении изменения биогенной миграции, этим путем происходившей в течение геологического времени.

---

1 В 1928 г. – «механизм»

XI

Около кембрийского[1] времени, на границе более точно изученного живого мира былого, повидимому, произошло появление *высших беспозвоночных*. Это время не может считаться вполне установленным, но только, это допущение объясняет, и притом простым образом, то резное изменение в сохранности организмов палеонтологической летописи, которое произошло около того времени. — позже кембрия или близко от начала кембрийского времени. Совершенная неизменность за нее 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 — метаморфизацня 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.

Повидимому, 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 отложении известняков. Механизм биогенной миграции кальция получил в указываемую эпоху чрезвычайные изменения: миграция эта сразу усилилась. Судя но тому, что нам известно об интенсивности миграции кальция в связи с созданием скелета высших беспозвоночных, например, моллюсков или кораллов, но 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-карбонатнымн 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 усовершенствования этих организмов, полный расцвет которых, повидимому, подошел к зениту в третичной эпохе, длился несколько геологических эпох. Он связан с завоеванием огромного нового пространства для жизни—тропосферы. Создание леса, полно-

[1] Сейчас правильнее сказать, может быть, альгонского. Надо думать радиологический метод определения геологического времени позволит точно установить эту дату.

го жизнью, произвело чрезвычайное 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 многом 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[1] биосферы, в биогенной миграции атомов птицы, а павно 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 птицы[2] . Повидимому, появление итиц 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 изме-

[1] В 1928 г. — «механизме».

[2] Может быть, в летающих ящерах надо видеть начало того большого процесса изменения миграции химических элементов, которое сейчас выражено в птицах.

нения только что начался. Он целиком входит в условия второго биогеохимического принципа: изменение приводит к чрезвычайному усилению проявления биогенной миграции атомов биосферы.

Два явления здесь должны быть 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.

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[1] 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,

[1] В 1928 г. — «механизме».

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 уделом 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 и энергию? 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.

Повидимому, мы не можем подойти к решению этой 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[1]

Проф. Л. Н. Лебедянцевым на 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 Академии 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. Лебедянцева. 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.

В статье А. Н. Лебедянцева 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. Лебедянцева 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:

Конопля без удобрения	8,35 см/сек
Клевер	20,15 »

Эта скорость для наибольшего и наименьшего изменения биогенной миграции относится как 1 : 2.41 для культурных растений, приводимых в таблице А. П. Лебедянцева. Миграция атомов, вызываемая жизнью клевера больше чем в 2.4 раза интенсивнее миграции, производимой жизнью конопли.

---

[1] Доклады Академии Наук СССР», 1929, стр. 38. Печатается по изданию: Биогеохимические очерки. 1922-1932 гг./В. И. Вернадский. — М.-Л.: Издательство АН СССР, 1940. с. 167-168.

Бросается в глаза, что геохимическая энергия лучших селекционных сортов меньше той же энергии обычных культурных рас.

РАСТЕНИЯ[1]	Площадь занимаемая одним растением k_3 в см^2	Средний вес живого растения в земле с корнями m в г.	Среднее количество семян на одно растение q	Коэффициент размножения Δ	Скорость передачи геохимической энергии r_3 при густоте популяции k_3 в см/сек.
Secale cereale, озимая рожь местная	64,8	10,45	82,1	0,0174	14,35
Secale cereale, озимая рожь селекционная	47,8	7, 96	57,5	0,0160	13,15
Triticum, озимая пшеница местная	69,5	10,52	72,6	0,0168	13,3
Triticum, озимая пшеница селекционная	44,8	6,89	40,6	0,0146	11,95
Panicum miliaceum var., просо местное	39,1	6,49	255	0,02235	18,2
Panicum miliaeeum var., просо селекционное	38,1	5,47	154	0,0199	16,1
Linurn usitatissimum var., лен мест ный	25,5	2,01	84,8	0,01755	14,2
Linum usitatissimum var., лен селекционный	23,8	1,85	80,0	0,01735	13,85
Trifolium pratense var. foliosum, клевер	207.2	23.90	406,5	0,0237	20,15
Cannabis sativa, конопля без удобрения	33,5	4,01	26,8	0,0103	8,35
Id., удобрение N, P,	40,8	9,43	47,3	0,01235	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	0,0111	9,0

Это 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 дикой растительности, которая заменяется сейчас нашими культурными полями. Повидимому, для сорняков и для дикой флоры величина v_3 значительно больше той же величины культурных рас. Та новая живая природа, которою 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 мест обитаний.

Надо надеятся, что начало, положенное А.Н.Лебедянцевым, к этому приведет[2].

[1] О значении приводимых здесь величин k_3, m, Δ и v_3 см. стр. 66, 71, 73

[2] Эту работу пришлось отложить, так как Шатиловская опытная станция переменила направление (стала селекционной). Сделанные анализы еще не опубликованы, но частью закончены. Я убежден, что путь, по которому мы пошли, правильный, и рано ли поздно ли по нему – или близко – пойдет научная работа, и ее результати будут приложены к жизни.

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЙ ЖИЗНИ И НОВАЯ ФИЗИКА[1]

I

Переворот, совершающийся в нашем XX веке в физике, ставит в научном мышлении на очередь пересмотр основных биологических представлений. Повидимому, 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.

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 неменьшей 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

---

[1] Доклад, читанный в Московском обществе испытателей природы и в Ленинградском обществе естествоиспытателей. Впервые опубликован в «Известия Академии Наук; СССР», 1931, Отд. мат. и ест. наук, стр. 403. Печатается по изданию: Биогеохимические очерки. М.; Л., 1940. С. 175–197.

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 построяемый 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 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, Птоломея, Браге, Гершелей, 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. Джине в речах, обра-

тивших 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, строящийся 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 длящееся века жгучее противоречие.

III

До сих пор человек мог разрешать противоречие 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 выявлениями реальной действительности.

IV

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[1] 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 рели-

[1] Вернадский В. И. Проблема времени в современной науке. Изв. Ак. Наук СССР., сер. 7. 1932, с. 511-541.

гиозных 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 и 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 подготовлялось 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 построяемой 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 знаний 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, подготовлялась к этому ночва.

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 общеобязательностью 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.

V

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 и з 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, всемом 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.

Эти ведет к резкой неустойчивости в научной организации человечества.

Не может явиться прочным не раз высказанное, но никогда живым образом но 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 о 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 построениий научной картины Космоса. Поучительна о 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 перод 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 обла-

стях 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

Также 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 для натуралиста 1930 г. резко отличается 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 а 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 влиянием кризиса[1] 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 и 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 всемирного тяготения, действующая мгновенно на всяком значительном расстоянии, бесследно исчезает из наших представлений. Пространство и время не разделимы, а 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. Еше 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 на ряду с эфиром загорелась заря *динамических представлений* о материи и об энергии. Отдельные ученые - крупные исследователи с философским образованием, например Оствальд-отец, считали атомистическое представления о мире 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 Рёзерфорда-Бора, казалось, окончательно царила. 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 далек атом физики XX века от атома Гасенди.

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 Ньютоновской 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 обра-

[1] Если считать время четвертым измерением.

тимыми. Это положение лежит в основе научного представления о Космосе XIX столетия. В тех случаях, когда они казались необратимыми, предполагали кажущуюся необратимость, допускали медленный — до абсурда — 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 Ньютоновской 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 пиление той же логической категории. В космическую формулу Лапласа и 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 придем 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 виду[1].

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

[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 но недоразумению. Они слишком связаны с разным пониманием детерминизма, в частности с проблемой о свободе волн. 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.

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 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 столетий[1] .

Изменение идет глубже. Мы явно подходим к различию физического пространства от пространства 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 расширяющийся рой новых представлений.

То научное представление о Вселенной, основанное на всемирном тяготении и физико-химических явлениях, о которых говорили три столетня 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 предвычпсляемой 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[2].

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 явлении. 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 альгонгка до современности можем мы проследить единый необратимый процесс эволюции — определенное направление процесса я одну сторону.

---

[1] См. новые представления Фридмана, Де Ситтера и др. о пульсирующей Вселенной. Вернадский В. И. Проблема времени в современной науке. Изв. Ак. Наук СССР, сер. 7, 1932, стр. 511–541.

2 Вернадский В. И. Проблема времени в современной науке. Изв. Ак. Наук СССР, сер. 7, 1932, стр. 511–541.

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.

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 построяемого 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, повидимому, 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 Ньютоново миропонимание. Это было, впрочем, Ньютоново миропонимание без И. Ньютона, который вводил в него поправки верующего христианина.

Повидимому, 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 па 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 проявление.

В этой области можно отметить ряд проявлений жизни, заслуживающих сейчас внимания, причем часть их носит планетный характер, связана с Землей, 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 коры[1] — 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 своею жизнью 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 по-*

[1] Было «верхней геосферы».

явлением 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.

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 среды, 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[1].

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 диссимметрней. Ничего аналогичного мы не знаем среди других природных объектов на Земле. Причем диссимметрия

[1] Вернадский В. И. Проблема времени в современной науке. Изв. Ак. Наук СССР, сер. 7, 1932, стр. 511–541.

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)[1].

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 представление 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 связной 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.

---

[1] Вернадский В. И. Проблемы биогеохимии. 1. Значение биогеохимии для познания биосферы. Изд. 2-е, Л. 1934.

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 травою 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 нор властно заставляет, однако, итти этим путем —вернуться к Л. Пастеру и к углубившему его идеи П. Кюри[1] .

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 разделимы.

---

[1] В сущности, диссимметрия Л. Пастера является одним из первых глубоких научных охватов — числом и мерою — 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.

Можно философски и математически итти 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 имевшими 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 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 днссимметрии, значение которой для биологии было отмечено Л. Пастером, а в физике П. Кюри.

XII

«Диссимметрией» называют разные явления, иногда как, например, в живых телах, происходящие одновременно, но по существу между собою несвязанные. 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 сим-

метрии 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 гемиэдрией, 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 распадалось на свои правые и левые 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 получаются 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 диссимметрня 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 в левые во втором случае многогранники[1] .

Мы знаем дальше, что эти свойства кристаллов выражаются винтовым правым или левым расположением их атомов, как этого требует и молекулярная диссимметрня Л. Пастера. Но она будет проявляться в растворах, в жидкостях — в вращении ими света — только в тех случаях, в каких, в веществах известных Па-

[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 неодинаково. 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.

стеру, 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 «асимметричным». 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 диссимметрней. существует коренное различие. Первое связано с распределением 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 диссимметрней. должно происходить от причины, обладающей такой же диссимметрней, 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 АВ. причем АВ (+) тождественно с ВА (—). Время такого процесса лишено по крайней мере центра симметрии (иногда неправильно физики говорят о его асимметричности). Тогда как для процесса обратимого ЛВ=ВА. 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 множество обычных физических явлений — изотропными.

В новой физике пространство и время не отделимы, как не отделимы они и в реальном мире натуралиста. В этом смысле идеи Эйнштейна ближе к научным концепциям натуралиста, чем идеи Ньютона, в которых в силе тяготения время не проявляется.

Этим объясняется та трудность, с которой проникала в научную среду теория Ньютона, потребовавшая 2—3 поколений для своего признания, и та быстрота, с которой она сейчас уходит с поля нашего зрения[1].

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 АВ отлично от ВА, 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 полевой впнтовой линии по отношению к данному вектору. На одной линии между точками А и В различимы, таким образом, четыре вектора. Можно различить:

АВ (+) левый и правый

ВА (-) левый и правый

---

[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 разделимы. А между тем он допускал совершенно иную природу и роль физического времени по сравнению с физическим пространством. И, допуская для времени двойную природу происхождении 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 состоянии пространства жизни. (См. о проблеме времени и пространства и роли Ньютона в се создании мою статью, Вернадский В. И. Проблема времени в современной науке. Изв. Ак. Наук СССР, сер. 7, 1932, стр. 511—541.

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 жизни[1] дает в этом отношении самые точные и глубокие указания, каких не дает пока никакое другое физическое явление Космоса.)

XIV

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 синтезирующею 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 одного случая среди природных неорганических соединений, неорганических минералов, которые проявляли бы такую же молекулярную диссимме-

[1] Пространства занятого телом организма.

трию, 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 нефти[1], обладающие молекулярной диссимметрией, и немногие 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: диссимметрня 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. п.

Явление, повидимому, связано с устойчивостью классов симметрии без центра и плоскости симметрии в определенных типах атомных полей[2]. В природе мы наблюдаем это только в соединениях углерода, связанных с живыми организмами.

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 диссимметрическне космические силы; это, по моему мнению, одна из связей между жизнью на земной поверхности и Космосом, т. е. совокупностью сил, расположенных на Вселенной»[3]. 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 диссимметрическне 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?»[4].

«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

---

[1] Руайе доказал, что таковы же торфы, т. е., очевидно, органогенные образования, заключающие энантиоморфные соединения, биохимически образующиеся.

[2] Определенных кристаллических решетках.

[3] Pasteur L. Oeuvres. I. P. 1883, p. 395.

[4] Pasteur L. Oeuvres. I. P. 1860, p. 341.

функция диссимметрии Вселенной или одно из последствий, которые ею вызываются... Движение солнечного света... диссимметричное?»[1].

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 говорит: «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» [2].

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

---

[1] Pasteur L. Oeuvres. I. P. 1874, p. 361.

[2] Pasteur L. Oeuvres. I. P. 1883, p. 241.

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 антипод[1].

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 пока нам 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 («apanage») исключительно продуктам, выработанным под влиянием жизни, может изменять физические и химические явления, свойственные организму»[2].

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 различение живым организмом физических и химических свойств среды жизни в связи со спиральным направлением энантиоморфных векторов представляет явление исключительного значения.

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 итти в изучении пространства Космоса так далеко, как это невозможно пока никаким другим путем. В этом проявляется космичность жизни. Это ясно видел Л. Пастер.

---

[1] Задача эта изучается сейчас в Биогеохимической лаборатории. См. статьи В. Гаузе. Труды Биогеохимической лаборатории, т. IV. Л.—М. 1936.

[2] Pasteur. L. Oeuvres. I. II. P. 1922, p. 622 (1858)..

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 столетня 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 Пьер[1]. Он в своих «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, повидимому, направление спиралей раковин одного и того же вида может меняться в течение геологического времени. Есть указание, что раковины всех Fiisus antiquus из красного лежня Англии (нижнепермские) все левые, а современные — все правые. Если бы не было какой-нибудь причины — неизбежно диссимметрнчной, 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 энантноморфной левой в пермское время и знантноморфной правой в наше время. На возможность такого изменения пространства жизни указывает, повидимому, и то, что в ряде случаев эмбрионы гастеропод дают левые спирали, а взрослые формы — правые.

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 — пра-

[1] Возможно, судя но биографии Бернардена де Сен Пьера, что он не является автором этой идеи, но я не встретил более раннего ее выражения. См. Lacroix. Figures de savants. I—II. 1932.

вые. Какая может быть причина этого явления? [1,2]

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 явно 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

Повидимому, 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, повидимому. основным явлением должно быть признано проявление принципа Реди, т. е. *смена поколений*[3].

В этой смене поколении 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 биологического времени, можно сейчас дать только пределы чисел, но не самые числа. Но изме-

---

[1] Вернадский В. И. Проблемы биогеохимии. 1. Значение биогеохимии для познания биосферы. Изд. 2-е, Л. 1934.

[2] Ludwig. W. Rechts links Problem im Tierreich. J. 1932.

[3] Вернадский В. И. Очерки геохимии. Изд. 4-е, Л. 1934.

нение представлений о положении жизни в Космосе настоятельно 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, повидимому 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. Повидимому, ее определение не представляет экспериментальных затруднений и должно быть сделано.

Повидимому, 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, повидимому, 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 научного 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 итти 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 геохимика[1].

[1] См. о современном состоянии вопроса В. Вернадский. Проблемы бногеохимии. II. М. 1939 (III—IV печатаются).

О БИОГЕОХИМИЧЕСКОМ ИЗУЧЕНИИ ЯВЛЕНИЙ ЖИЗНИ[1]

I

Представляя два сообщения, тесно между собой связанные, так как они составляют части одной и той же работы нашей Биогеохимической лаборатории (и в одной части — Государственного радиевого института), мое — об изотопах в живом веществе[2], с одной стороны, и мое вместе с Л. П. Виноградовым — о химическом элементарном составе рясок (видов Lernna), как видовом признаке[3],— 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 на основании 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.

Повидимому, 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 строении в явлениях жизни.

---

[1] Докл. АН СССР. №6. 1931, 137-140. Печатается по изданию : Биогеохимические очерки. М.; Л., 1940. С. 211 — 213.

[2] Вернадский В. И. О влиянии живых организмов на изотопические смеси химических элементов. Доклады Ак. Наук, сер. А, 1931, стр. 137—140.

[3] Вернадский В. И. и Виноградов А. П. О химическом элементарном составе рясок (Lemna), как видовом признаке. Доклады Ак. Наук, сер. А, 1931,стр. 148—152.

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).

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[1] и, исходя из кристаллографии, Ф. Ринне[2].

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.

---

[1] Кольцов. Н. К. Природа, Л. 1930.

[2] Rinne F. Grenzfragen des Lebens. L. 1931.

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 философской 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[1].

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.

---

[1] Лукашевич И. Д. Что такое жизнь? Биологический этюд. СПб. 1909.

О ВЛИЯНИИ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ НА ИЗОТОПИЧЕСКИЕ СМЕСИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ[1]

I

В 1926 г. в докладе Академии Наук об изотопах и живом веществе 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[2] и пространству, в частности. В этой области естествознания изучение жизни методологически более могущественно, чем физика и химия, изучающие ту же область знания. Это ярко сказывается в том новом, что вносит изучение жизни в понимание симметрии — в понятиях дисимметрии и состояний пространства[3]. В других работах я связывал указанную гипотезу с проблемами геохимии в их самом широком, доступном мне охвате[4,5,6,7,8]. Эта гипотеза не единственная возможная. Очень вероятно, что она и не охватывает все явление нацело. Я отмечал[9], 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, про-

---

[1] Докл. АН СССР. №6. 1931, 141-147. Печатается по изданию: Биогеохимические очерки. М.; Л., 1940. С. 214–218.

[2] Вернадский В. И. Химический состав живого вещества в связи с химией земной коры. П. 1922. стр. 11–12

[3] Vernadsky W. L'étude de la vie et la nouvelle physique. Revue générale des sciences, P. 1930, N 24, p. 695–712

[4] Вернадский В. И. Очерки геохимии. Изд. 4-е, Л. 1934.

[5] Вернадский В. И. Биосфера. Л. 1926

[6] Vernadsky W. La Biosphère. P. 1929.

[7] Вернадский В. И. Les isotopes et les organismes vivants. C R. Ac. Sc. P. 192, 1931, p. 131—133.

[8] Vernadsky W. Isotopes and living matter. Correspondence. Chem. News, 142, 1931, p. 35—36.

[9] Vernadsky W. L'autotrophie de I'humanité. Revue générale des sciences. P. 1925, № 17/18, p. 495—502.

шедших 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)[1].

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[2].

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 но 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,

---

[1] Paneth F. Radioelements as indicators. L. 1928, p. 145—146.

[2] Rossi P. Rendiconti dela Accad. dei Lincei, ser. 5. R. 1910, p. 578.

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[1,2]. 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.[3]

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[4].

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[5] дал новые определения, подтверждающие первые, определения атомного веса калия из ботвы (haulm) картофеля дали колеблющиеся числа[6] 40.08— 40.8, предварительное определение калия из семян люпина — 40.67. В то же время калий из отмершей хвойной древесины дал обычное число 39.11, тоже нормальное число получено для металлического калия, пролежавшего 20 лет в лаборатории [7] (39.04).

---

[1] L. et A. Chretien, Bull. d. 1. Soc. de Chimie biolog., P.[8, 1926, p. 104.

[2] Curie M. Les isotopes, P. 1924.p. 125.

[3] См. Вернадский В. И. Изотопы и живое вещество. В этом издании с. 247 и след.

[4] Loring F. a. J. Druce. Chem. News, 1930, 140, p. 33—39.

[5] Druce J. Chem. News, L. 1931, 142. p. 33.

[6] Такие большие колебания являются сейчас непонятными, так как они 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.

[7] О причине такого выбора металлического калия см. Druce J. Chem. News, L. 1931, 142. p. 35.

Первая работа Ф. Лоринга и Д. Дрюса вызвала возражения со стороны одного из американских химиков. Г. Лоури[1], желая проверить достижения Ф. Лоринга и Д. Дрюса, определил атомные веса калия из хлопка (семянных волосков) и из одной пшеничной американской муки[2]. Он получил нормальные атомные веса — соответственно 39.111 ± 0.013 и 39.091 ±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 другой.[3]

IV

Задача поставлена и сейчас, очевидно, будет окончательно разрешена. Ф. Лоринг и Д. Дрюс связали свою постановку с идеями Г. Зваардемакера[4], 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 Ca, 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)[5]. Может быть, в жизненном процессе концентрируются радиоактивные изотопы. Ф. Лоринг и Д. Дрюс уже говорят о биологическом обогащении изотопов[6]

Недавно, в декабре 1930 г., вышла новая работа, которая ставит вопрос о разделениях «органическим процессом» изотопов урана. Г. Бакстер и Л. Блисс[7]

---

[1] Lowry H. Journ. Amer. Chem. Soc, 1930, 52, p. 1332

[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, стр. 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] Zwaardemaker H. Onder Zoekingen Gedaan in het physiologisch laboratorium der rijksunikersiteit te Utrecht. 1927. p. 68.

[5] 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 [Kochman M. u H. Seel. Biochem. Ztschr. 1928, 198, S. 378] ср. из другой области [Majorana Q. Rendiconti delle sessioni. d. Accad. di Bologna, Classe fis., 30, 1922; Hoffman G. Schriften d. Königsb. gel. Ges. 4, Nat. Kl. 1927, № 1].

[6] Loring F. a. J. Druce. Chem. News, 1930, 140, p. 33-39.

[7] Baxter G. u. A. B1iss Journ. Amer. Chem. Soc. 52, 1930, p. 4848

нашли, что в палеозойском биолите — кольме, в котором в свое время были установлены А. Норденшильдом[1, 2] уран и радий, нет актиниевого ряда. Это открытие, имеющее очень большое значение 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 Блисс ставят определение атомного веса урана из кольма.

Это открытие ставит новые задачи и в области биогеохимических проблем. «Органический процесс» Г. Бакстера и А. Блисса 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[3]

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.

---

[1] Nordenskiöld A. C. R. Ac. Sc. P. 120, 1895, p. 859.

[2] Вернадский В. И. О необходимости исследования радиоактивных минералов Российской империи. Труды Радиевой экспедиции Ак. Наук, 1914, вып. I, стр. 36.

[3] Bishop W. Medical Journ. of Australia, S. 1928, I, p. 480.

[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 разно 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[1,2]. 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 соединении 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 различии 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 пропорцнонально 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.

---

[1] Вернадский В. И. Очерки геохимии. Изд. 4-е, Л. 1934.

[2] Vernadsky W. Mesothoriumhaltige natiirliche Gewasser. Ztschr. f. Elektrochem. 1932, S. 527—529.

Можно, следовательно, принять, что установленное различие в атомном весе земных изотопических смесей водородов, 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, Mg, Fe) и в Комиссии но изучению тяжелого водорода и других изотопов при Академии Наук, объединяющей ряд лабораторий (для ^{2}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.]

О ПОЛЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЖИДКОЙ УГЛЕКИСЛОТЫ В БИОСФЕРЕ[1]

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 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 С02 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 суще-

---

[1] Доложено в РИСО 29.06.1931. Опубликовано в: ДАН СССР. А. 1931. № 11. С. 287-295. Печатается по изданию: Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

ствованием на ней поля устойчивости твердой фазы воды и к нему примыкающих 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 большая, чем область массивных пород суши, заключающих жидкую $C0_2$, 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 биологических[1].

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 критической 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

---

[1] См., например, новейшие сводки: Martonne E. de. Traité de géogr. phys. 4 éd. l.P. 1925; Supan A., Grundz.d.phys.Erdkunde. Her. v.Obst. 7. Aufl. I. B. 1927; Report of the Commitee 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».

далеко подымающиеся 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. Андрьюсу сжижается при 48,89 атмосферах давления (resp. 490 м глубины) уже при температуре в 13,1 °С. При 72,92 атмосфер 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 $C0_2$, как это мы наблюдаем на земной поверхности.

$$CO_2 \rightleftharpoons CO_2,$$

Жидкость Газ

4. Возможность существования устойчивости жидкой фазы углекислоты в морской воде[1] надо принимать во внимание особенно потому, что динамическое равновесие

$$CO_2 \longrightarrow \text{Морская вода} \longleftarrow \text{Газ}$$

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

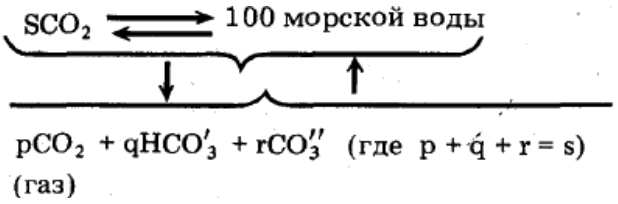
[1] Здесь и дальше я буду говорить о морской воде вообще — морской и океанической.

однородное тело, жидкая углекислота в воде нерастворима или почти нерастворима (и обратно)[1]. Получается при их проникновении для чистой смеси H_20+C0_2 физически неоднородная среда или эмульсия, или обе жидкости разделяются на два слоя.

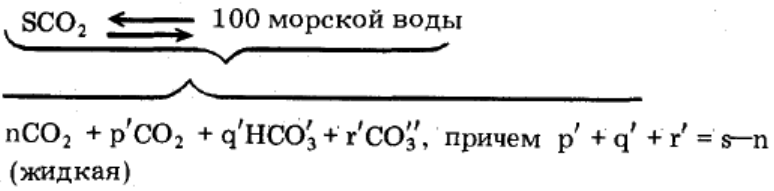
Химическая реакция между углекислотой и водой на глубинах должна прекратиться или затормозиться.

В то же время значительно меньший удельный вес жидкой углекислоты (0,914 при 0° при обычном давлении по Амага́) 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 п.

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 парадок-сальным.

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 геофизик Г. Эмэ (H. Aimé), океан (и всякий поверхностный водный бассейн) проникается до дна газами из тропосферы, которые в зависимости от своего химического

[1] По-видимому, некоторое растворение есть, но явление не изучено.

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 $C0_2$, определяющий ее парциальное давление в газовом столбе океана, не может существовать в среде, где газовая фаза углекислоты $CO_2 \rightarrow\leftarrow H_2O$ отсутствует; он зависит от химического взаимодействия Нельзя принимать при расчетах, которые делаются, обычного коэффициента растворимости газообразной углекислоты.

Надо учитывать сверх того еще гораздо бóльшую 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 $C0_2$, 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 глубиною.

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 N_2 — O_2 — CO_2 перейдет в подкласс N_2— 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 — $CO_2 \cdot 6H_2O$, 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 отсутствует, 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 организма[1] 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 энергетики долженствующие 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.

---

[1] 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 дозволяет нашей лаборатории приступить к выяснению этой важной проблемы так, как этого требует сейчас научная мысль.

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 работах[1], 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 излучения[2].

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 грязях, 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. Люндегорд[3]. 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 грязевой атмосферы должен резко отличаться от таковой почвенной.

Или микробы морских глубоких грязей в своем газовом обмене должны иметь особые приспособления, например выделять (или изменять?) жидкую угле-

---

[1] По указанию К.М. Дерюгина.

[2] Martonne E.M., Chevalier A. et Cuénot L. Traité de géogr. phys. 4 éd. 111. P., 1927. P. 1344.

[3] Vernadsky W. Geochemie in ausgew. Kap.L. 1930. P. 205.

кислоту, или морские осадки должны быть резко отличны от водных грязей 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, несомненность 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°С. 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 стратисферы, метаморфической и гранитной геосфер.

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 подыматься 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.

О ХИМИЧЕСКОМ ЭЛЕМЕНТАРНОМ СОСТАВЕ РЯСОК (LEMNA) КАК ВИДОВОМ ПРИЗНАКЕ[1]

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 организмов[2] 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 (жорданонов) 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 организмов[3]. 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 атомов[4]. 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

---

1 Доложено в ОМЕН 31.01.1931. Опубликовано в: ДАН СССР. 1931. № 11. С. 148-152 (совместное А.П. Виноградовым). Печатается по изданию: Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

2 Сводка данных для морских организмов А.П. Виноградова будет напечатана в Трудах БИОГЕЛ, т. 3.

3 *Вернадский В.И.* Химический состав живого вещества. Пг., 1922; Он же//Тр. БИОГЕЛ. Л., 1930. Т. 1. С. 1 и сл.; *Виноградов* А#.//Зап. Физ.-мат. в I дд. ВУ АН IV.5.K.1930, 357.

4 Вернадский В.И. // ДАН-Л. 1931. С. 137.

охарактеризована на фоне изменения биосферы и законов миграции ее атомов. 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 обусловливают 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 напечата-

Таблица 1

Химический элементарный состав видов Lemna, % веса живых организмов

Элемент	Название вида						
	Lemna pollyrrhiza				Lemna minor L.		
	Место сбора						
	Петергоф		Киев		Киев	Петергоф	
	1. 1928	2. 1929	3. 1929	4. 1928	5. 1929	6. 1928	7. 1929
H_2O	91,15	93,10	91,47	92,75	91,84	93,6	92,10
C	3,85	4,20	4,20	5,55	2,85	2,71	3,19
N	$3{,}1\cdot 10^{-1}$	$2{,}6\cdot 10^{-1}$	$3{,}0\cdot 10^{-1}$	$2{,}36\cdot 10^{-1}$	$2{,}1\cdot 10^{-1}$	$3{,}10\cdot 10^{-1}$	$3{,}1\cdot 10^{-1}$
H	10,19	-	-	-	-	-	10,88
O (по разн.)	84,15	-	- - -	-	-	-	84,80
K	$3{,}1\cdot 10^{-1}$	$2{,}9\cdot 10^{-1}$	$2{,}1\cdot 10^{-1}$	$2{,}3\cdot 10^{-1}$	-	$2{,}4\cdot 10^{-1}$	$3{,}6\cdot 10^{-1}$
Na	$3{,}2\cdot 10^{-2}$	$3{,}8\cdot 10^{-2}$	$5{,}5\cdot 10^{-2}$	$4{,}0\cdot 10^{-2}$	-	$4{,}2\cdot 10^{-2}$	$3{,}6\cdot 10^{-2}$
Ca	$1{,}3\cdot 10^{-1}$	$1{,}2\cdot 10^{-1}$	$1{,}8\cdot 10^{-1}$	$1{,}6\cdot 10^{-1}$	-	-	$0{,}9\cdot 10^{-1}$
Mg	$5{,}3\cdot 10^{-2}$	$5{,}2\cdot 10^{-2}$	$3{,}9\cdot 10^{-2}$	$3{,}5\cdot 10^{-2}$	-	-	$4{,}1\cdot 10^{-2}$
Mn	$1{,}4\cdot 10^{-2}$	$1{,}8\cdot 10^{-2}$	$1{,}4\cdot 10^{-2}$	-	$1{,}4\cdot 10^{-2}$	$2{,}9\cdot 10^{-2}$	$2{,}2\cdot 10^{-2}$
Fe	$6{,}6\cdot 10^{-3}$	$2{,}2\cdot 10$	$1{,}4\cdot 10^{-2}$	$1{,}6\cdot 10^{-2}$	$6{,}4\cdot 10^{-3}$	-	$5{,}3\cdot 10^{-3}$
Cl	$1{,}2\cdot 10^{-1}$	$1{,}6\cdot 10^{-1}$	$1{,}5\cdot 10^{-1}$	$1{,}7\cdot 10^{-1}$	$1{,}1\cdot 10^{-1}$	$1{,}1\cdot 10^{-1}$	$1{,}3\cdot 10^{-1}$
P	$4{,}8\cdot 10^{-2}$	$5{,}6\cdot 10^{-2}$	$6{,}4\cdot 10^{-2}$	-	$6{,}9\cdot 10^{-2}$	$5{,}1\cdot 10^{-2}$	$5{,}7\cdot 10^{-2}$
S	$4{,}1\cdot 10^{-2}$	$3{,}2\cdot 10^{-2}$	$5{,}0\cdot 10^{-2}$	$5{,}1\cdot 10^{-2}$	$4{,}2\cdot 10^{-2}$	$4{,}0\cdot 10^{-2}$	$6{,}1\cdot 10^{-2}$
Si	$2{,}3\cdot 10^{-2}$	$1{,}6\cdot 10^{-2}$	$2{,}9\cdot 10^{-2}$	$6{,}5\cdot 10^{-2}$	$4{,}3\cdot 10^{-2}$	$2{,}8\cdot 10^{-2}$	$1{,}9\cdot 10^{-2}$

Элемент	Название вида				
	Lemna trisulca L.				Lemna gibba
	Место сбора				
	Киев		Петергоф	Киев	
	8. 1928	9. 1929	10. 1929	11. 1929	12. 1929
H_2O	88,79	88,82	91,60	93,71	92,74
C	5,60	5,16	4,31	2,30	2,86
N	-	$4,6 \cdot 10^{-1}$	$3,1 \cdot 10^{-1}$	$3,1 \cdot 10^{-1}$	$3,8 \cdot 10^{-1}$
H	-	10,61	-	-	11,0
O (по разн.)	-	82,71	-	-	84,60
K	$1,9 \cdot 10^{-1}$	$2,6 \cdot 10^{-1}$	$2,7 \cdot 10^{-1}$	$1,8 \cdot 10^{-1}$	$3,1 \cdot 10^{-1}$
Na	$9,1 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-2}$	$6,1 \cdot 10^{-2}$	$4,7 \cdot 10^{-2}$
Ca	$2,9 \cdot 10^{-1}$	$1,8 \cdot 10^{-1}$	$2,1 \cdot 10^{-1}$	$5,0 \cdot 10^{-1}$	$2,2 \cdot 10^{-1}$+
Mg	$8,1 \cdot 10^{-2}$	$7,4 \cdot 10^{-2}$	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$5,1 \cdot 10^{-2}$
Mn	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$4,4 \cdot 10^{-2}$	$8,8 \cdot 10^{-2}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$
Fe	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$5,8 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$
Cl	$2,1 \cdot 10^{-1}$	$0,9 \cdot 10^{-1}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$	-	$3,1 \cdot 10^{-1}$
P	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$9,1 \cdot 10^{-2}$	$6,2 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$6,9 \cdot 10^{-2}$
S	$3,1 \cdot 10^{-2}$	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$3,7 \cdot 10^{-2}$
Si	$0,9 \cdot 10^{-2}$	$4,2 \cdot 10^{-2}$	$4,3 \cdot 10^{-2}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$	$5,5 \cdot 10^{-2}$

нию 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 (11)[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, Си.

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 группе — *Lemna minor* и *L.gibba*.

[1] Цифрами указаны анализы, произведенные отдельными аналитиками. Анализ *temna trisulca* 1929 г. из Петергофа произведен несколькими лицами.

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, ныpдженныи в % атомов

Элемент	Lemna polyrrhiza	Lemna minor	Lemna trisulca	Lemna gibba
	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	$1.9 \cdot 10^{-1}$	$1{,}3 . 10^{-1}$	$2{,}7 \cdot 10^{-2}$	$4{,}9 \cdot 10^{-2}$
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	$4{,}9 \cdot 10^{-3}$	$40 \cdot 10^{-3}$	$8{,}9 \cdot 10^{-3}$	$1{,}13 \cdot 10^{-2}$
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.

БИОСФЕРА И СТРАТОСФЕРА[1]

Все это время, которое прошло после полета Пикара, ясно показало, что стратосфера, по крайней мере в своей нижней части, до 40 км (до озонового экрана), является частью биосферы. Отсюда вытекает несколько выводов, на которых я кратко хочу здесь остановиться.

Во-первых, биосфера, как это теперь совершенно ясно, не является случайным явлением, а обладает совершенно определенной структурой, которая должна отражаться и на ее части — стратосфере. Вот почему мы не можем упускать из виду при рассмотрении программы работ по стратосфере теснейшую связь ее с биосферой и свойства последней.

Во-вторых, здесь возникает прежде всего, вопрос о том, что, по-видимому, в стратосфере должна проходить *верхняя граница биосферы*, т.е. область жизни нашей планеты. Я беру понимание биосферы не так, как это понимает биология, а так, как это понимается геологией. Мы должны считаться с тем, что биосфера сама является в значительной части продуктом жизни. Точное определение ее границ имеет поэтому особое значение. Изучение стратосферы дает возможность поставить вопрос о верхней границе биосферы. Эта возможность совпадает сейчас с чрезвычайно большим явлением, которое нам приходится переживать в понимании биосферы, ибо сейчас как раз становится вопрос и о нижней границе биосферы. За эти последние годы явления, которые впервые были установлены около сорока лет назад (1879-1891) проф. Ф. Штапффом (F. M. Stapff) при прорытии Сен-Готардского тоннеля и были совершенно забыты, а именно нахождение жизни в очень глубоких частях земной коры, далеко за пределами кислородной поверхности, получают реальное обоснование.

В 1926 г. одновременно появились чрезвычайно важные работы, определяющие нижнюю границу биосферы: Е. Бастина в Америке и проф. Н. Г. Ушинского и его лаборатории в Баку. Эти работы показывают, что чрезвычайно глубокие пластовые нефтяные воды переполнены жизнью. Мы имеем здесь новое глубокое проявление жизни. Эти воды входят в область биосферы. Связанное с этим открытие бактериальной флоры в нефтях заставляет эту границу проводить еще ниже, на глубину нескольких (до 3?) километров. Приходится думать, что, вероятно, область биосферы ограничивается высокой температурой внизу (около 100°) и ультрафиолетовыми излучениями наверху, в стратосфере (озоновый экран).

При таком рассмотрении стратосферы мы должны учитывать, что атмосфера Земли не может ограничиваться тропосферой. Она не оканчивается на поверхности геоида, а идет гораздо глубже. Мы должны считаться с существованием *подводной и подземных атмосфер*, которые все тесно и закономерно связаны и являются естественной и нормальной частью биосферы. Так, воздух океана при

---

[1] Впервые опубликовано в: Труды Всесоюз. конф. по изуч. стратосферы. 31 марта 1934 г. Л.; М., 1935. С. 575-578. В дальнейшем опубликовано в: Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, I960, Т. 5. С. 289-291. Печатается по изданию: Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

средней мощности (глубине) океана 3,8 км, а в отдельных местах достигая глубин больше 10 км, является прямым и неразрывным продолжением тропосферы. Эта подводная атмосфера изменена в своем химическом составе и подвергается давлениям больше 1000 атмосфер, находясь в связи с тропосферой. Ниже дна океана и ниже поверхности геоида на суше неразрывно связаны друг с другом, с тропосферой и подводной атмосферой, *подземные атмосферы*. Основным свойством всех этих атмосфер, теснейшим образом друг с другом связанных, и с самой тропосферой, является то, что они в значительной массе, в главной их массе, как это ни странно, являются продуктом жизни.

Это кажется нам несомненным по отношению к кислороду, который составляет около 1/5 объема тропосферы и который, дальше разрежаясь, переходит в стратосферу. Это было давно установлено; можно считать, что непрерывно всякая потеря кислорода, который уходит на различного рода химические и биохимические реакции, немедленно восстанавливается жизнью, почти исключительно фотосинтезом зеленых растений. Кислород входит в состав тропосферы и подводной атмосферы и быстро сходит на нет в подземных атмосферах.

Другой источник его, с которым все же надо считаться, явно не является сравнимым по мощности с жизненным фотосинтезом, который создает в тропосфере громадное большинство молекул свободного кислорода. В тропосфере же, но главным образом, может быть, в стратосфере, идет другая, независимая от жизни реакция его синтеза: действие ультрафиолетовых излучений на молекулы воды. Она несравнима по величине с биогенным процессом. Такой синтез кислорода и есть один из вопросов, который надо выяснить при изучении стратосферы.

Так же по массе отходят на второй план и радиохимические разложения, дающие кислород в тропосфере, стратосфере и подземных атмосферах. Кислород тропосферы и стратосферы — биогенный.

Оказывается, что такой же — биогенный — процесс определяет и генезис азота атмосферы. Большая часть (4/5 примерно) атмосферы, а следовательно, и стратосферы — азот; ему приходится приписывать биохимическое происхождение. В 1912 г., когда я впервые углубился в геохимию азота, я допускал возможность того, что в азоте мы видим газ, который идет в значительной мере из наиболее глубокой части земной коры. Накопившийся в течение 22 лет материал заставляет резко менять это представление. Сейчас выяснилось, что история азота в глубинах земной коры иная, чем думалось. Характерно, что свободный азот здесь неустойчив. Он дает аммиачные соединения. Это с одной стороны, а с другой — мы не видим проявлений тех количеств азота, которые бы существовали, если бы в подземные атмосферы проникал свободный азот из земных глубин. Для всех газов, находящихся в растворенном виде в природных водах, существует одно замечательное число, которое выдерживается везде и в водах, и на земной поверхности. Это весовое количество растворенных газов. Оно всегда для суммы газов равно 10^{-3}%, т.е. тысячным долям процента веса воды. Если бы азот шел из глубин, мы бы встретились для глубоких вод с увеличением этого процента, но мы встречаемся с уменьшением содержания азота, которое доходит до стотысячных

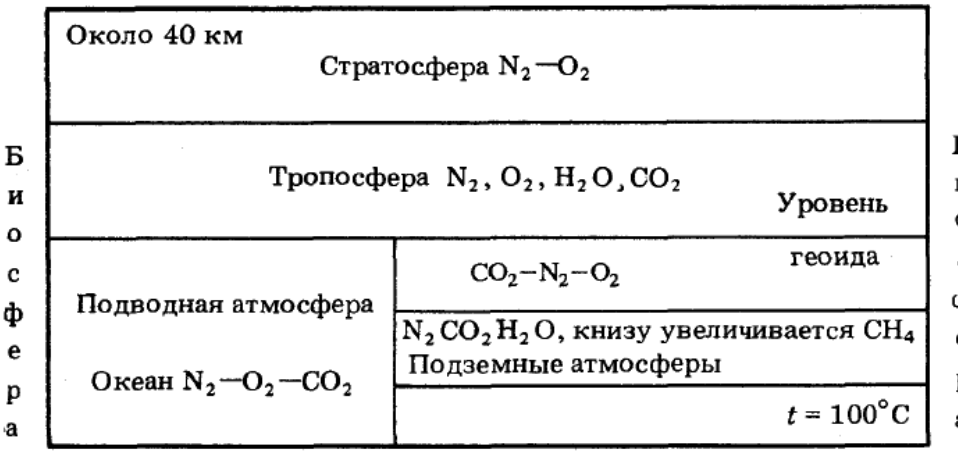
долей процента (10^{-5}%) без увеличения количества других газов. Выяснившаяся сейчас необходимость понизить нижнюю границу биосферы заставляет считаться с тем, что часть подземного азота биогенного происхождения, ибо как в глубоких пластовых водах, так и в нефтях найдены выделяющие свободный азот бактерии.

Целый ряд факторов, таким образом, заставляет учитывать, что в циркуляции свободного азота мы прежде всего должны считаться с биохимическим его генезисом. Свободные кислород и азот стратосферы в известной нам части биогенного происхож-дения. Они связаны со сложным газовым строением земной коры, которое выражается следующей схемой:

СХЕМА ГАЗОВОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Ионосфера

Озоновый экран



Исходя из этих соображений, желательно, чтобы при выработке программы наблюдений стратосферы было обращено внимание на три явления: 1) чрезвычайно важно выяснить количественный материальный обмен газов между тропосферой и стратосферой, выяснить, насколько и как быстро вещество стратосферы попадает в тропосферу и обратно; 2) выяснить количество молекул кислорода, массу кислорода, которые могут образоваться в стратосфере в результате разложения молекул воды ультрафиолетовыми излучениями; 3) точно количественно изучить нахождение воды в стратосфере. Наконец, было бы желательно, чтобы было обращено внимание, помимо озона, и на нахождение перекиси водорода в стратосфере. Тела эти, несмотря на вероятное их значение, до сих пор не обращают на себя должного внимания в геологических и геофизических исследованиях.

Само собой понятно, что вопрос о нахождении жизни — живых организмов в стратосфере, поставленный на очередь, имеет большое значение и с точки зрения соотношения стратосферы с биосферой.

ЗАМЕТКА О ТИТАНЕ В БИОСФЕРЕ[1]

1. Работа Ш.Е. Каминской[2] 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 биосфере[3]; 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)[4]. Вадозные минералы титана, находящиеся в ней, являются нерастворимыми соединениями, выпадающими, по-видимому, из солей, как гели, а не из обычных растворов, или связанными с псевдоморфозами[5].

---

[1] Впервые опубликовано в: Труды Биогеохим. лаб., 1937. Т. 4. Печатается по изданию: Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

[2] Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР, 1937. Т. 4. С. 227. — Ред.

[3] О необходимости раздвинуть ее пределы см.: Вернадский В.И.П Изв. АН СССР. ОМЕН. Сер. геол. 1937. №1.С. 3.

[4] Вернадский В.И.// Почвоведение. 12. 1910. №3. С. 257.

[5] 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.

Из пятидесяти с лишком титановых минералов нам известны только три-четыре, образующиеся в биосфере: окись титана — брукит и, вероятно, рутил[1], ксантитан и лейкоксен[2], 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 оболочки[3].

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 проявлений[4] 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 (H_2O, CO_2, H_2S) ; 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, ильме-

---

[1] 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).

[2] 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 of mineralogy. N.Y., 1932), пользующейся некоторым авторитетом и тесно связанной с превосходным трудом: Dana J., Dana E. System of minerology. N.Y., 1892 (трудом поколений ученых), ксантитан совершенно отсутствует, а лейкоксен отнесен к сфенам; это не тот лейкоксен, о котором здесь идет речь.

[3] Вернадский В.И. Очерки геохимии. Л., 1934.

[4] Вернадский В.И. История минералов земной коры. Л., 1927. Т. 1, вып. 11

ниты) — 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, нелтуниты, 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 концентрации[1] 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)[2]. Его химическая деятельность чрезвычайно ослаблена; связь с металлами, кроме алюминия, в общем прервана[3].

В верхней части биосферы, где сосредоточена масса живого вещества и резко выражены биогеохимические процессы, надо различать три типа выделений титана, его форм нахождения[4]: 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 *окиси титана —лейкоксены* — и алюмотитановые гели, может быть, гидраты титано- алюминиевых кислот[5] — ксантитаны.

Свободные окислы — TiO_2 — выделяются в более глубоких ее частях — в областях биогенного матаморфизма, 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.

---

[1] О кларках концентрации см.: Ферсман А.Е. Геохимия. Л., 1933. Т. 1.

[2] Возможно нахождение Fe (Fe — трехвалентное, может быть, Ca).

[3] Al_20_3, так же как TiO_2, всегда в земной коре является ангидридом. См.: Вернадский В.И. Очерки геохимии.

[4] 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. издания «Живое вещество и биосфера»].

[5] 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 форкиньоновской печи), получался легкоподвижный в этих условиях сплав. Мне не пришлось позже вернуться, как я тогда хотел, к этой работе. В земной коре существуют, повидимому, соли этих комплексных ангидридов: хегбомит, заключающий Ti, AI, 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.

Работы американских минералогов выдвинули их значение. Лейкоксены образуются часто распадением ильменита и переходят в брукит, может быть, рутил (Мак-Картней, 1932)[1]. 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 почвах[2].

Удельный вес лейкоксена[3] около 4,17.

Совершенно необходимо систематически исследовать эти неизученные тела и перенести методику работ американских минералогов на наши осадочные породы[4]. Способ их образования не ясен; нередко это псевдоморфозы, в которых весь титан сохраняется в виде лейкоксена, например для титанистого железняка:

$$pFe_20_3 \cdot yFeTi0_3 \rightarrow TiO_2 \cdot nH_2O.$$

Титанистый железняк Лейкоксен/

Очень вероятно, что реакция идет под влиянием вод, богатых CO_2. В конечном итоге лейкоксены превращаются, по-видимому, в брукит или рутил, теряя воду[2]**:**

$$TiO_2 \cdot nH_2O \rightarrow TiO_2^{-4}.$$

Можно думать, что, подобно α = кварцу ($Si0_2$) 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 опалов[5]. 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 изучены[6].

Возможна концентрация ксантитана в почвах[7], может быть, в виде комплексных соединений еще более сложных, чем богатые водой титано-алюминиевые соединения.

---

[1] 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.N2, 1932; Coil F.// Amer. min. 18, 1933, 62.

[2] Вернадский В.И. //Почвоведение. 1910. №3. С. 255.

[3] F. Coil, указ. соч., p. 65.

[4] Ср. Батурин В. в добавлениях к Мильнер Г., указ. соч., стр. 311.

[5] Ср.: McCartney G., указ. соч., 1932.

[6] Ср.: Вернадский В.И. Минералогия. М., 1910. Вып. I; 1912. Вып. II.

[7] 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, стр.59; Влодавец Н.И, там же, стр. 45.

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)[1]. 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 больше[2]. 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, вероятно[3], 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.)[4]. Он константирован 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 меньше. 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 концен-

---

[1] Вернадский В.И.// Почвоведение. 12. 1910. № 3. С. 257. (опечатка «ксантин»).

[2] Kaiser E., указ. соч.; А. Ферсман. Указ. соч.; В.И. Вернадский. Минералогия. Вып. 11. С. 511.

[3] RaoT., (T. Rao, Min. Mag., 21, № 120, 1928, 421) дает для латеритов Индии 11,69 и 8,76 % TiO_2. Ковар указывает для глин 10,06 %; это — наибольшее число, приводимое Рисом (Ries H., Glays. L., 1927. P. 145).

[4] Вернадский В.И. История природных вод. Л., 1934. Ч. 1, вып. II.

трирует титан. Необходимо поставить систематически количественное 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 суждения[1].

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*.

Кларк титана в среднем составе земной коры максимально равен $б \cdot 10^{-1}$ %.

Максимальное известное мне количественное определение Ti в поверхностной воде равно $б \cdot 10^{-6}$ %, 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. $б \cdot 10^{-6}$, *кларк концентрации будет положительным по отношению к воде*. В определениях Ш.Е. Каминской для растений пока найдено максимально $2{,}0\text{-}10^{-3}$% (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 дозволяют 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.

---

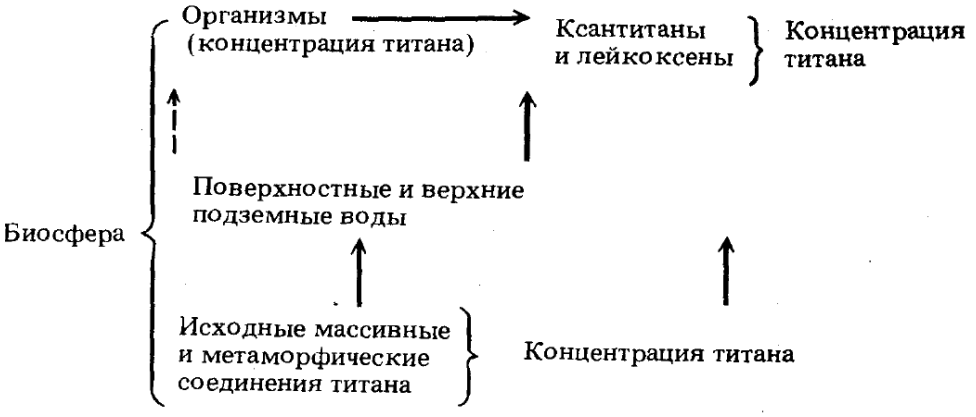
[1] В водных растворах природной серной кислоты в кварцевых песчаниках серных бугров Каракумов, согласно анализу Н.И. Влодавца (1926), должно заключаться значительно больше Ti. Водная вытяжка (час при комнатной температуре) дает воду, заключающую 4,50 % H_2SO_4 (более продолжительное выщелачивание не меняет этого количества, вода сразу берет всю серную кислоту), при общем «твердом остатке», в который включено 4,50 % H_2SO_4, равном 5,93 %, содержит $8{,}20 \cdot 10^{-2}$ % 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 O-S-H — должен быть еще более. См. числа: Н.И. Влодавец // Материалы для изучения естественных производительных сил СССР... №59. С. 103 и сл.

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 участвует[1], [2] 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 нахождениям:



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 лейкоксенов* 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 лейкоксена надо обратить внимание на некоторые бактерии, особенно ферробактерии и

---

[1] См. сводку: Billy M. Traite de cheimie minerale publié par P. Pascal. P., 1932. Vol. 5. P. 528.

[2] 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).

их разности, выделяющие алюминий. Таковы, по Джексону[1] *Crenothrix ochracea (Leptothrix ochracea* Kutzing), дающие в осадках 33,3% AI_2O_3[2]. Заключают ли они титан? Для ферробактерий имеются прямые указания на нахождение титана в их выделениях[3], [4] . 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.

---

[1] Вернадский В.И.. Очерки геохимии. С. 131 [Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1954, Т. 1. С. 139-140. — Прим. ред. издания Живое вещество и биосфера].

[2] Jackson D. Trans. Amer. Microsc. soc., 23, 1902, 188. Ср. J. of Soc. chemic. industry, 21, 1901, 681.

[3] Crenothrix kuhneina — 5,7 % AI_2O_3, Grenothrix manganifera — 1,5% AI_2O_3.

[4] По Н.И. Влодавцу, в футлярах Gallionella sp. в старорусских минеральных водах — 0,27 % TiO_2 (Б.В. Перфильев// Изв. Геол. ком. 1926. Т. 45. С. 812). Титан был ранее указан для железо-марганцевых конкреций экспедиции Челленджера — 0,13 % TiO_2 — См.: J. Murrey, Renard G. Deep Sea Reports. Challenger Report. L., 1891. P. 403.

О ПРЕДЕЛАХ БИОСФЕРЫ[1]

1. *Вводные замечания.* В области наук, связанных с атомами, в геохимии и в биогеохимии в частности, необходимо учитывать в текущей научной работе яркую особенность переживаемого момента, связанную с исключительным ростом научного знания в XX в. — времени, когда сложились геохимические представления.

С начала XX в. — в сущности, с открытия Г. Беккерелем в 1896 г. явлений радиоактивности — научная мысль непрерывно растет с небывалой в истории культуры широтой, глубиной и интенсивностью. Ее рост характеризует XX столетие в такой мере, в какой никогда это раньше не наблюдалось, так как во все прошлые века, когда создавалась новая наука — в XVII-XVIII вв., одновременно переживалось равноценное по значению творчество философского и религиозного сознания, а в XIX в. — рост философии, до сих пор ощущаемый.

В отличие от прошлых веков творчество философских и религиозных исканий для нашего времени резко отходит на второй план. С каждым годом все резче выступает примат научного творчества, с достижениями которого — в построении миропонимания и в текущей жизни — должны считаться, должны к ним приноравливаться, изменяться и углубляться как философские построения, так и религиозные представления, раньше бывшие и вновь создаваемые.

2. Основным в научном движении является быстрое, все увеличивающееся создание новых, по-существу, научных фактов и связанных с ними новых эмпирических обобщений. Значение этих новых научных дисциплин, новых областей научного знания, крупных и мелких, все создающихся, приводит к примату научного знания, так как и в философском и в религиозном понимании мира эти новые научные области знания не учтены и последствия из них еще не выведены. А между тем они коренным образом, небывалым со времени эпохи создания основ нашего знания — эллинской науки VI — V вв. до н.э., изменяют наше представление о мире. Наука конца XIX в. — 50 лет назад — и наука нашего времени отличаются друг от друга более резко, чем наука 50 лет назад от науки конца XVII в.

Мы не видим сейчас ни малейшего ослабления этого мирового движения научной мысли; наоборот, оно все растет, создает новые области новых фактов, новых явлений. Этим движением давно охвачены науки физические, сейчас захватываются науки геологические и науки биологические — науки о жизни.

3. Здесь процесс только что начинается. Геохимия, биогеохимия в частности, уже и сейчас занимает в этом движении видное место; впереди перед ней огромное будущее.

Одним из характернейших проявлений этого научного движения является то, что научные эмпирические факты, а еще больше научные эмпирические обобщения, научные гипотезы и научные модели мира в ряде случаев получают фило-

---

[1] Опубликовано в: Изв. АН СССР. ОМЕН. Сер. геол. 1937. № 1. С. 3-24. Печатается по изданию: Живое вещество и биосфера /В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. 672 с.

софское значение, большее, чем это наблюдалось в прошлые века, в XVI—XVII, когда впервые резко проявился рост современной научной мысли.. Часть области, раньше доступной только философским интуициям и размышлениям, впервые становится доступной точному научному исследованию. И эта область все расширяется. Наука проникает в новые для нее области ведения.

Поэтому многие научные выводы кажутся современникам по своему характеру не научными, а научно-философскими (для науки о природе — натурфилософскими) , ибо наука в XX в. научными методами касается таких проблем, к которым вплоть до XIX в. включительно человек мог подходить только философским исканием.

Но это натурфилософские выводы и достижения только по форме, а не по существу.

Они должны оцениваться как научные гипотезы и теории или даже — в ряде случаев — как научные эмпирические обобщения, достоверность которых несравнима (значительно больше) с достоверностью научных теорий и научных гипотез (не говоря о философских представлениях). Для их критики и для их оценки философская методика и философская эрудиция получают второстепенное значение и легко могут приводить к ложным выводам. Как научные достижения они прежде всего и в основном должны и могут быть правильно понимаемы *только* научной критикой и научной оценкой.

В этих новых областях знания ученый может спокойно оставлять без внимания философскую критику его научных достижений и философские выводы из них, так как *все имеющиеся сейчас философские концепции и философские навыки мысли лежат в другой плоскости,* не могут захватить и охватить новые создающиеся и все растущие в своей значимости научные области фактов.

Это должно быть понято, ибо философская мысль XVII—XIX вв. опиралась и развивалась логически и диалектически, исходя из научного материала и научного точного знания XVII—XIX вв.; резко в основном отличного от современного. Взрыв научного творчества[1] , который мы сейчас переживаем, с каждым годом увеличивает еще больше разлад между всяким философским и быстро растущим научным пониманием окружающего, пока философская мысль и философское понимание действительности не внесут коренных изменений в свои построения. Философия коренным образом должна пересмотреть свои основы, должна охватить научно новое и строиться на новых достижениях научного знания XX в. Должна создаться новая философия. Философская методика и философские концепции прошлых веков — в том числе и XIX — не могут быть без вреда для дела прилагаемы к новым научным областям, раньше XX в. несуществовавшим.

Далеко не просто перевести философию, живую для XIX в., но чуждую XX в., в новое русло, поднять ее на новый уровень. Для этого надо проделать огромную критическую работу, вызвать живую творческую философскую мысль. Мы видим, что и в прошлом только к началу XIX в. были охвачены новой тогда фило-

[1] Вернадский В.И.// Труды Ком. по ист. Л., 1927. 1

софией основные научные достижения XVII—XVIII вв. Может быть, сейчас еще и нельзя этого сделать для науки XX в., так как научная мысль, научная методика и научное понимание окружающего находятся во все растущем становлении, идут все дальше, находятся в непрерывном быстром движении и изменении. Размах научной работы XX в. несравним по силе с работой XVII в., создавшего новую философию. Философская мысль нашего времени не может поспеть за научной. А наука меняется даже не годами, а месяцами.

Перелом научного знания, нами переживаемый, так велик, что ни одна из существующих философских систем и философских методик не может охватить сейчас достаточно глубоко и полно новую научную мысль XX в. и ее достижения.

Это и понятно. Ясно, что мы не можем подходить к научной критике и к оценке достижений современной науки, только исходя из знаний и методики науки XIX в. Но точно так же нельзя опираться и на философию, всецело на этих старых, во многом отброшенных представлениях построенную, считаться без очень серьезных оговорок с ее заключениями и с ее оценками научной работы.

4. Совершается в истории человечества великий процесс замены многих основных религиозных и философских построений, в значительной, самой осознанной их части, более точными, для всех обязательными и по внутреннему содержанию и по существу новыми научными представлениями об окружающем.

Этот процесс не может быть остановлен или надолго задержан. Он имеет в себе элементы стихийности природного процесса, на которых я сейчас останавливаться здесь не могу. Он особенно ясен и сознается в изменении религиозных представлений об окружающем. Так или иначе, все великие течения религиозного сознания к этому новому положению вещей, созданному ростом научного знания, приспособляются или изменяются. Менее это сознается в философских построениях и в методике философского мышления. И религия и философия — обе одинаково должны учесть новые научные достижения и к ним должны приспособиться.

Само собой разумеется, наука не может охватить всю область познаваемого. За пределами ей доступного остается всегда огромная область научно непознанного и вновь ею вызывается столь же бесконечная, как и раньше, новая область непознанного[1]. Но философия и религия не могут не измениться *по существу* в такие моменты истории человечества, как тот, который нами сейчас переживается. Часть «вечных загадок» разрешена или разрешается, но встают новые, не меньшие и в не меньшем числе. По существу, область временно недоступного точному научному исследованию, охватываемого лишь философским мышлением или религиозными построениями, не уменьшается. Но философия и религия при этом глубоко, коренным образом изменяются под влиянием нового научно созданного понимания мира.

---

[1] Я касался этого уже в 1902 г. в моей статье «О научном мировоззрении» (Вопросы философии, М., 1902, 65, 1409). Перепечатано в сборнике моих статей: Очерки и речи. — М.: НХТИ, 1922. Несмотря на то огромное изменение в наших научных представлениях, какое произошло за эти 30 лет, это утверждение остается в силе.

Здесь, конечно, не место на этом останавливаться. Важно лишь отметить, что научная работа в такие эпохи не только резко охватывает области совершенно новые по явлениям и фактам, в них научно изучаемым, но захватывает своей работой чуждые ей области, в которых раньше царила только философская (или даже религиозная) мысль.

5. Мне кажется, из всех научных областей современности нигде так ярко и глубоко это не чувствуется, как в биогеохимии, ибо биогеохимия изучает явления жизни; она изучает связь жизненных процессов, с одной стороны, *с атомами,* с другой, — с изучаемой в атомном аспекте Землей как *планетой*.

При этом изучении мы должны считаться как с организованностью[1] элементов жизни — *живого вещества* геохимии[2] *живых организмов*, так и с организованностью неразрывно с организмами связанной среды жизни — биосферы — одной из *оболочек* планеты.

Выявляемые при этом научные законности философом[3], не пережившим того переворота мышления, какой пережил — и переживает — ученый-натуралист, понимаются как натурфилософское построение; он подходит к ним с этой точки зрения. Он не учитывает того нового и небывалого в философии, что сейчас изучается в науке, — нового понимания атома и нового понимания планеты в атомном аспекте.

Атом и планета — ее жизнь и область этой жизни, в своей глубочайшей структуре с ней связанная, — в биогеохимии коренным образом отличны от атома и планеты (в геохимическом аспекте) современной философии. Употребляя те же слова, философ вкладывает в них другое содержание, от которого он не может освободиться в рамках своего мышления. Это содержание отвечает не современной науке, а понятиям, в науке исчезнувшим или исчезающим, — атома и планеты начала XIX в.

Чрезвычайно характерно для философской литературы, что она учитывает почти всегда только изменение, вносимое в научные *теории* (и *гипотезы*), например, в науках физических. Но основное резкое изменение в научной *работе* XX в., которое связано с конкретной природой, с резким изменением *эмпирического*, физического *материала*, на котором наука строится, ею большей частью **оставляется** без внимания, совершенно не учитывается. А между тем именно в этом резком изменении понимания конкретной природы, в существовании сейчас совершенно новых огромных областей новых эмпирических фактов, внесенных в научное знание наукой XX в., новых наук заключается самая основная черта науки XX в. Биогеохимия целиком охвачена этими новыми областями новых эмпирических фактов[4].

Исходя из этого и из того, что в скрытом виде наша философская мысль живет старым, научно пережитым, ее критика теряет значение в тех новых областях знания, с какими сталкивается современный научный исследователь.

---

[1] Вернадский В.И. Проблемы биогеохимии. 2-е изд. Л., 1935. С. 11.

[2] Ср.: Вернадский В.И., Очерки геохимии, 4-е изд. Л., 1934. С. 43.

[3] Ср.: Вернадский В.И., ИАН, 1933. С. 395.

[4] Вернадский В.И. Основы геохимии, 4-е изд., Л., 1934.

Она находится в другой, далекой от *научной* мысли современности плоскости. Противоречия, ею выдвигаемые против геохимии и биогеохимии, в действительности являются философской *иллюзией*, объясняются вышесказанным и могут быть оставлены без рассмотрения.

В этих новых областях знания я могу поэтому спокойно оставить в стороне все выводы, которые исходят из философского их обсуждения. Больше, чем в других областях знания, здесь можно и должно быть от них независимым.

Пока философы не охватят своим анализом и синтезом новых областей новых явлений, открытых и открываемых наукой XX в., и не уточнят и изменят в связи с этим методики своей работы, их критика здесь неизбежно бесплодна и бьет мимо[1]. Нельзя вливать новое вино в старые мехи. Их критика часто только мешает, а не помогает научной работе.

6. *Биосфера*. Понятие биосферы чисто эмпирическое.[2] Оно было создано — в планетном аспекте — в 1875 г. Э. Зюссом, в эпоху его геологической работы над происхождением Альп[3], и было введено как заключительная концепция в его «Лик Земли»[4], столь глубоко повлиявший на геологическую мысль конца XIX — начала XX в. Зюсс правильно оттенил точный, лишенный всяких сторонних, всяких гипотетических допущений фактический характер вводимого им нового понятия. Оно указывало геологическое место явлениям жизни в геологической структуре Земли, причем Зюсс подчеркивал, что в самом характере планеты, в ее геологической истории есть явления, могущие в своем неизбежном ходе разрушить в конце концов жизнь, положить предел ее неуклонно идущему в геологическом времени изменению и приспособлению. Биосфера Зюсса лежала выше его литосферы, так же как выше находится его гидросфера — Всемирный океан.

Жизнь, которую мы научно изучаем, своеобразно, исключительно связана с своеобразием и с судьбами нашей планеты[5] .

Идеи Зюсса, связывающие биосферу, следовательно и жизнь, с геологическими судьбами планеты, никогда не были им более полно и последовательно развиты, но при всей своей кажущейся простоте и самоочевидности несли в себе зародыши всего дальнейшего развития новых геохимических и биогеохимиче-

---

[1] Достаточно привести следующие, почти нацело лежащие вне философской обработки и философского анализа большие области научных фактов и эмпирических обобщений: правизна и левизна, учение о симметрии, диссимметрия (принцип Кюри), разные законы в разных разрезах мира, изменение геохимических процессов человеческим сознанием (мыслью), биохимические функции в биосфере, принцип Реди, единство жизни в аспекте геологического времени, связь явлений жизни с атомами и их строением, относительная ничтожность проявлений химических элементов в массе вещества Космоса, непрерывность уточнения, углубления и усовершенствования реакций нервной ткани в ходе геологического времени, связанная с усилением влияния жизни на биосферу, и т.д. Я беру здесь не теоретические и гипотетические представления, как теория относительности, учение о квантах, разное проявление причинности в разрезах мира и т.п., а конкретные эмпирические обобщения. Число их быстро увеличивается. Именно это есть характерное явление переживаемого момента в истории науки. Список легко может быть увеличен.

[2] Вернадский В.И., Биосфера. Л., 1926.

[3] Süss E. Die Entstehung der Alpen. W., 1875.

[4] Süss E. Das Antlitz der Erde. 111,2, W., L., 1909, P. 740.

[5] Süss E., Mit. d. Geol. Ges., 2, W., 1909, P. 167.

ских представлений. В его же геологической работе они не сказались в крупных общениях, не вышли дальше определения геологического «места» области жизни, ее резко земного характера[1] .

Представления Зюсса о земных оболочках, к числу которых относится и биосфера, вошли благодаря ему в научный обиход геологов конца XIX — начала XX в., но обратили на себя серьезное внимание и были уточнены только в XX в. Успехи геохимии и геофизики положили для них прочное основание[2]. Сейчас они находятся в непрерывном изменении благодаря быстрому накоплению новых данных и новому пониманию старых, давно известных явлений.

7. Э. Зюсс оставил в стороне более неопределенные представления о биосфере, которые были связаны с географическим подходом к ее изучению. Жизнь как резко поверхностное явление в области планеты, подверженной прямому действию космических излучений и космических сил, вполне входила в область географических явлений. Современник Э. Зюсса (1832—1914) Ф. Ратцель (1844—1909) в понятии «пространства жизни» (Lebensraum) создал аналогичное биосфере представление, но не оттенил теснейшей закономерной связи его и проникающей его жизни с геологической историей планеты[3].

В сущности, это представление, взятое в географическом аспекте, - представление очень старое. Его ярко чувствовал уже Бюффон, а младшие его современники второй половины XVII в. сознавали и неразрывную связь жизни с планетой, геологическую особенность занятой ею области.

Из известной мне литературы наиболее ярко и глубоко высказал это Ф. Вик д'Азир [F. Vicq. d'.Azyr, 1748—1794 гг.][4] незадолго до своей смерти.

8. Подход к явлениям жизни с геохимической точки зрения заставил более определенно уточнить понятие биосферы.

Стал вопрос о биосфере как об определенного строения земной оболочке, и о живых организмах как об их совокупности, и о «живом веществе» как об особой форме нахождения химических элементов, выявляющейся в миграциях химических элементов аналогично минералам и горным породам (молекулам и кристаллам), магмам, рассеяниям[5]. В химических или в термодинамических равновесиях живое вещество может быть поставлено наравне с другими формами нахождения химических элементов и подчиняется всецело всем могущим существовать для них физико- химическим законностям[6] .

---

[1] Süss E., Mitteil.d.Geol.GeseIlsch.,2, W., 1909, P.148 u.f.

[2] Вернадский В. Очерки геохимии. 4-е изд. Л., 1934. С. 51 и след., здесь дана и литература, см. с. 303; Ферсман А. Геохимия. I. 2-е изд. Л., 1934, с. 233 и след.; П. Л., 1934, с. 270 и след., 295 и след.

[3] Лит. см.: Вернадский В. Проблемы биогеохимии. I. 2-е изд. Л., 1935, с. 17.

[4] Vicq. d'Azyr F. Traité d'anat. et de physiol. I, P., 1786, P. 6.

[5] Это представление о биосфере, складывавшееся у меня путем изучения фактов с 1916г., было в более новой форме изложено мной в 1924 г. в книгах «La géochimie» (1924, p.67) и «Биосфера» (Л., 1926) (по-французски «La Biosphére», 1929). см. последнюю сводку: Очерки геохимии. 4-е изд. Л., ГГНИ 1934, с. 53 и след.; Проблемы биогеохимии. 1,2-е изд. Л., 1935, с. 19; Биогеохимические очерки, М., 1937.

[6] Вернадский В. Очерки геохимии, 4-е изд. Л., 1934, с. 56–58.

Биосфера с этой точки зрения будет представлять ту область земной коры, в которой эта форма нахождения химических элементов — живое вещество — только и может иметь проявление.

9. Эта область, геологически определенная, является одной из многих структурных особенностей нашей планеты. Она не может — не должна — рассматриваться как самодовлеющее явление, но должна учитываться в кадре ей аналогичных геологических структур — оболочек земной коры. От оболочек земной коры, от генетически в известной степени с нею связанных геосфер она не может быть при научном изучении оторвана[1] .

Я оставляю здесь в стороне геосферы, а остановлюсь только на земных оболочках, охватывающих иногда ряд геосфер[2]. Но биосфера отличается от всех оболочек земной коры тем, что только в ней находится живое вещество, энергия которого теснейшим образом связана с космической энергией, попадающей на планету извне, из чуждых ей просторов. Ибо в биосфере же наряду с жизнью, мы наблюдаем максимальную на планете концентрацию проявления космической энергии Солнца, загадочных космических излучений и привходящего в планету космического вещества[3] .

10. Строение верхней части нашей планеты — земной коры, состоящей из концентрических оболочек, является эмпирическим обобщением[4], несомненным фактом, но до сих пор не имеющим ни одного научного объяснения, позволяющего, опираясь на него, систематически работать в этой области[5] .

Очевидно, это — преходящее положение, которое может быть преодолено только дальнейшим установлением новых фактов, внимательным, эмпирическим, научноточным их накапливанием. Другого пути нет. Среди этих фактов откроются такие, которые или вскроют эту загадку, или дадут возможность построить по крайней мере рабочую научную гипотезу. Я вернусь ниже (§27) к этому явлению.

Мы видим, что изменение, которое вносится работами последних лет, заключается в том, что две оболочки — стратосфера и стратисфера — должны быть включены в биосферу, так как в них ясно существование и геологическое проявление живого вещества[6] .

11. Живое вещество и космические привносы, резко отличающие биосферу от других земных оболочек, отнюдь не являются формами энергии и вещества, проникающими ее «случайно», т.е. без научно выявляемой причинной связи с находящимися в ней другими формами вещества и энергии. Наоборот, биосфера имеет определенное научно выявляемое и выражаемое *строение*, точное определение которого является сейчас основной научной задачей дня в геологии.

---

[1] Вернадский В., Op.cit., 1934, с. 61. Эта схема требует теперь поправки, которая вносится в этой статье. Ср.: Op.cit., 1934, с. 355.

[2] О геосфере и земной оболочке см. мои «Очерки геохимии» (1934, указатель). Ср.: Ферсман А. Геохимия. I. 2-е изд. Л., 1934; II. Л., 1934, указ.

[3] Вернадский В. Мироведение. 1932, № 5, с. 32. Ср.: Ферсман А., Геохимия, 1, 2-е изд.

[4] О понятии эмпирического обобщения см. Вернадский В., Биосфера. Л., 1926, с. 19.

[5] Ср. обзор попыток: Ферсман А. Геохимия. 1, 2-е изд. Л., 1934. С. 284 и след.

[6] Ср.: Ферсман А. Природа. Л., 1935, № 9, с. 27.

Это строение, закономерно создающееся в ходе времени, резко отличается от механизма хотя бы потому, что оно постоянно создает новое, никогда не возвращается, по-существу, к прежнему состоянию: совпадения даже в основном (если мы будем точно наблюдать) с былым его состоянием никогда не наблюдается; сходство всегда только приближенное. Вследствие этого я счел необходимым выразить структуру биосферы, а следовательно, и других оболочек земной коры, новым понятием — *организованностью*[1], исходя из того, что мы изучаем в ней процессы, закономерно связанные с воздействием на окружающую природу живых организмов, особенности строения которых глубоко сказываются и в играющих первостепенную роль в строении земной коры биогенных минералах и горных породах.

Проявлением организованности, а не механизма будут и те выяснившиеся недавно пределы биосферы, о которых идет речь в этой статье.

12. *Верхняя граница биосферы.* Обращаясь к строению биосферы, надо прежде всего отметить, что за последние годы выяснились ее верхний и ее нижний пределы иначе, чем мы это раньше думали. Этим получаются отсутствовавшая раньше определенность в пространстве, отвечающем биосфере. Отсюда открывается ряд возможностей, о которых ниже (§ 19).

Прежде всего необходимо отметить, что и в геологической истории мы имеем ясные указания на то, что биосфера в ходе времени увеличивается в отвечающем ей объеме[2].

Биосфера не есть нечто неподвижное, как это и следует ожидать из того характера ее структуры, который выражается понятием организованности, непрерывно колеблющейся и изменяющейся. Это проявляется в расширении области жизни, т.е. биосферы, в геологическое время. Вырабатываются организмы, которые, приспособляясь к условиям безжизненных областей, их заселяют: процесс расширения быстро идет в ходе геологического времени. Едва ли есть сколько-нибудь значительные области на земной поверхности и в водных бассейнах, на ней находящихся, которые бы не были заняты жизнью, нередко в форме чрезвычайно своеобразно приспособившихся, чрезвычайно специальных организмов. Всюдность[3] жизни есть характерная черта строения биосферы, во всяком случае, той ее части, которая соприкасается с тропосферой. Эту оговорку приходится сейчас внести ввиду открытия последних лет — значения подземной жизни, которое нами еще недавно достаточно не учитывалось (§17 и след).

Мне кажется неизбежным поставить сейчас конкретно вопрос о геологической истории заселения теперешней биосферы, постепенного выявления форм жизни, специально приспособившихся к исключительным условиям обитания. Возможно, что в морских глубинах есть еще области, не занятые жизнью, и медленно в геологическом времени ею занимаемые. Образцов жизни глубже 6 км мы еще не имеем.

13. Мы переживаем сейчас проникновение жизни в лице человека в новую об-

---

[1] Вернадский В. Проблемы биогеохимии. М.: Изд-во АН СССР, 1934, с. 11 и след.

[2] Вернадский В. Биосфера. Л., 1926, с. 112 и след.

[3] Ср. об этом: Вернадский В. Очерки геохимии. I, 4-е изд., 1934, с. 173 и след.

ласть — расширение пространства биосферы благодаря захвату человеком стратосферы. Как глубоко и далеко пойдет этот захват, мы не знаем и не можем даже учитывать. До ионосферы еще далеко, и, по-видимому, тепловые условия верхних частей стратосферы менее благоприятны для жизни, чем ее нижняя граница. Во всяком случае, ясно, что начавшийся захват стратосферы, в общем, может быть, мало отражающийся на ее просторах, есть начало большого явления. Оно не остановится. Надо при этом учитывать одну характерную черту проникновения в безжизненную среду любого организма, человека в особенности. Живое вещество (совокупность организмов) никогда не находится на Земле в морфологически чистой форме, как совокупность неделимых одного вида (как «однородное живое вещество»). Проникновение жизни всегда несет с собой своеобразный биоценоз.

Самостоятельно и глубоко мыслящий, интересный американский натуралист А. Кларк, принимая во внимание только крупные, видные простым глазом организмы, указал[1], что от всякого расширения людьми средств передвижения насекомые выигрывают больше людей и захватывают все большую массу земного вещества. Он даже ставит, как возможный исход в будущем, век насекомых, который заменит век человека. Как бы то ни было, несомненно, что в стратосферу проникнут с человеком и насекомые, и многочисленные представители мира микроскопических существ и микробов.

14. Но вместе с тем новые работы указывают, что мы имеем в стратосфере условия, которые не допускают существования в ней постоянной жизни в тех исключительных условиях, в которых находится человек в стратостате. Возможно, что в нижних частях стратосферы на некоторой высоте (может быть, временами) отсутствует одно из соединений, *абсолютно* необходимых для жизни, — *вода*. Дело в том, что первый химический анализ, сделанный у нас после полета стратостата «СССР», не дал ни *следов* воды[2] . Он был взят с высоты 16,5 км 30 сентября 1933 г. Нахождение воды устанавливалось по появлению росы на зеркале, охлаждаемом жидким воздухом, т.е. самым чувствительным из известных методов. Едва ли можно сомневаться в ее отсутствии в этом случае. Однако сейчас приходится этот вопрос ставить вновь. В 1935 г. появился ряд статей А. Лепапа и Ж. Коланжа[3], которые подбирали материал в течение нескольких лет, но опубликовали его только после появления данных проникновения в стратосферу Прокофьева.

Они анализировали воздух с высот от 9 до 16,8 км и всюду находили воду, которая находилась в состоянии пересыщенности для температуры воздуха, который изучался (trés largement sursaturante).

15. Это противоречие должно было выясниться при новом поднятии в стратосферу в нашей стране в 1935 г., в котором пробы воздуха брались под руководством физика А. Б. Вериго. Анализы еще не опубликованы. К сожалению, все баллоны воздуха при исследовании в Радиевом институте оказались негодными для анализа.

---

[1] Clark A. The Scientific Monthly, 24, L., 1927, p. 548.

[2] Prokofieff J., Godunov and Birnbaum, Nature, 1934, 133, p. 918; Черепенников А. Природные газы, Л., 1934 №8.

[3] Lepape A., Colange G., C.R. 200, P. 1935, p. 1340, 1872, 2108.

Мы имеем сейчас восемь поднятий, в которых Лепап и Коланж нашли воду, и одно, в котором (Прокофьев, Годунов, Бирнбаум, Черепенников) она не найдена. Резкая разница между этими анализами, которым нет основания не верить, увеличивается еще тем, что Лепап и Коланж нашли во всех анализах (12) большее количество CO_2, чем в каком она содержится в тропосфере, — факт, если он подтвердится, имеющий огромный научный интерес. Количество углекислоты (в объемных процентах) достигает 0,13 % вместо среднего в тропосфере 0,03 %. Анализ Черепенникова не указал и CO_2, которая должна была бы при его методике проявиться. Данные анализа Лепапа и Коланжа не дают — в опубликованной форме — возможности судить, несколько правильно взяты пробы и насколько правильно изготовлены сосуды для взятия проб воздуха[1] .

16. Мы стоим теперь в ожидании решения. Оно, очевидно, скоро будет. Но важен уже и самый факт возможности искать в стратосфере реальной границы биосферы, создаваемой возможным отсутствием воды, — методологически он очень важен. Этого никак нельзя было ожидать из ранее известного[2] .

Есть ли это постоянное или временное явление, подлежит изучению. Но уже одновременное существование абсолютно сухого — безводного — слоя в воздухе является не охватываемой жизнью (во всех ее формах) гранью. Этот слой может, конечно, быстро проходиться живыми организмами, и особенно латентными формами жизни (зерна, споры), но длительно существовать (останавливаться) в этом слое жизнь не может. Эту часть стратосферы можно, исходя из этого, считать границей биосферы, определяемой строением планеты. Граница стратосферы не есть постоянная и неподвижная величина; она, по-видимому, является колеблющейся, но пока мы дальше этого идти не можем, но мы можем количественно определить пределы колебаний.

Правильности, характеризующие строение земной коры, возможно, отвечают существованию вечно изменяющейся в определенных пределах, но в среднем устойчивой организованности, существованию для нее верхней границы — безводного слоя очень разреженных холодных газов (до -100°?).

17. *Нижняя граница биосферы.* Для нижней части биосферы — подземной ее части — мы, по-видимому, имеем тоже определенную грань.

Если с некоторой долей точности можно рассматривать поверхность биосферы (на суше и на островах) покрытой сплошной пленкой жизни, учитывая почву, область выветривания и всюдность поверхностной жизни, и если то же самое можно допустить для океана и для водных бассейнов, учитывая планктон, сгущения жизни и жизнь в иловых водах[3], то эта возможность исчезает при углублении в земную кору за пределы поверхности суши и дна водоемов.

Еще недавно почти не возбуждало сомнений предположение, что жизнь теснейшим образом связана с тропосферой и что подземная жизнь (понимая под этим

---

[1] А. Черепенников не считает опыты Лепапа и Коланжа решающими. Подготовка баллонов в их опытах делалась до давления 10^{-2} *mm*, в баллонах Прокофьева — до 10^{-5} *mm* давления. А. А. Черепенников (9/VIII 1935) в письме ко мне считает советские определения более надежными.

[2] См.: Вернадский В. История природных вод. I. Л., 1933.

[3] См.: Вернадский В. Проблемы биогеохимии. I, 2-е изд. Л., 1935.

и поддонную жизнь) может существовать там, где может быть приток воздуха с поверхности, т.е. что жизнь может существовать в подземной тропосфере, более или менее прямая связь которой с тропосферой временно или постоянно существует; Старое представление Дюма и Буссенго о жизни как придатке атмосферы (1844)[1] при этом сохранялось неизменным и этому не противоречило. Можно, следовательно, было считать, что жизнь во всех случаях, когда такая связь устанавливается (новые трещины при землетрясениях, рудные разработки, бурение и т.п.), проникает в новые девственные для нее места. Жизнь находится во всех областях подземных пещер (например, в карстовых областях и т.д.), где она идет вглубь больше километра от земной поверхности по вертикали. Она заселяет здесь и воды и попадает с поверхности в воды подземные — верховодки — и даже в воды напорные[2]. Область выше кислородной поверхности переполнена жизнью. Мы знаем, что формы жизни в этих лишенных света областях новые, следовательно, жизнь к ним приспособилась и в ходе геологического времени выработались новые ее виды.

К сожалению, большое природное явление — *подземная тропосфера* — до сих пор мало изучено. Оно гораздо больше, чем это сейчас в науке признано. До сих пор не сведены и не обобщены многочисленные разбросанные в литературе данные о ее проявлениях. Одной из очередных работ в геохимии является их критическая сводка.

18. Казалось, можно было принять, что нижние границы биосферы совпадают с кислородной поверхностью в земной коре, т.е. с нижней границей существования *свободного кислорода*[3] .

Мы знаем, что главная масса свободного кислорода создается на земной поверхности биохимически, деятельностью зеленых растений, — его чисто фотохимическое создание (главным образом распадом молекул воды) отходит на второй план. Даже когда допускалось существование анаэробной жизни, предполагалось, что подземная жизнь является несравнимым с наземной жизнью по геологическому значению биогеохимическим процессом.

Эти процессы — вне неизбежной связи с подземной тропосферой, присутствие свободного кислорода для которой является характерным, — были оставляемы без внимания.

Казалось, что жизнь прекращается далеко от той предельной границы, которая, во всяком случае, для нее существует. Ясно было, что температурная граница области в +100° или около этого является непроходимым пределом жизни — ее предельной границей. Но это было представление абстрактное, схематическое, оживляющих его фактов не было, или они не обращали на себя внимания, хотя и были.

19. Научные открытия последних лет заставляют резко и коренным образом менять наши представления. Открываются негаданные — вероятно, геологически вечные — биогеохимические процессы, не связанные с тропосферой, развитые в

---

[1] Dumas et Boussingault J. Essai de statique chim.des étres organisés, 3, éd. P., 1844, p. 45-46.

[2] Об этих терминах см.: Вернадский В. История минералов земной коры. П. Л., 1933-1936.

[3] Вернадский В. Op. cit., 1908-1914, с. 130, 635; История минералов земной коры. I. Л., 1927, с. 224; II, 1933-1934, стр. 124-125, 233 и след.

стратисфере, в области осадочных пород, которые могут быть правильно охарактеризованы как явления *подземного выветривания или биогенного метаморфизма* и которые, мне думается, играют огромную роль в химии земной коры, главным образом в создании природных газов и биогенных пород, каустобиолитов прежде всего.

Они вместе с тем дают новые формы сгущения жизни в биосфере[1], заставляют включить в ее состав, вероятно, всю стратисферу.

Можно уже сейчас говорить о подземных сгущениях жизни. Значение живого вещества в геохимических процессах и роль биогеохимической энергии в земной коре чрезвычайно увеличиваются по сравнению с существующими сейчас представлениями.

Нижняя граница биосферы должна лежать выше областей, где господствуют горячие пары воды и температура не опускается ниже 100°, в среднем на глубине между 3 и 4 км от уровня геоида. Только наблюдением можно это выяснить. Едва ли можно сомневаться, что жизнь далеко заходит за 2-3 км.

20. Следующие явления заставляют делать это заключение:

1) нахождение живых анаэробных и аэробных организмов в водах восходящих пластовых и в водах подземных водовместилищ, достигаемых бурением с глубин, исчисляемых многими сотнями метров, сейчас более 1,6 км;

2) нахождение живых организмов в нефтях;

3) биохимическое — в бескислородной среде — образование каустобиолитов — ка-менных углей, нефтей, битуминозных углей, сапропелитов, многих асфальтов; логически из этого допущения следует, что живые бактерии, давшие начало каустобиолитам, существовали в условиях образования каустобиолитов на глубинах 1-30 км при температурах, превышающих 30-80°, и при давлениях до 1000 атм, а, вероятно, и больше;

4) нахождение живых спор (в латентном состоянии) как в древних осадочных породах, так и в древних каустобиолитах. Это нахождение, которое в ряде случаев константи- ровано многими микробиологами (Лиске, Лиман и др.), не может считаться общепризнанным и требует дальнейшего исследования и подтверждения. Но оно вполне соответствует той картине подземной жизни, которая начинает перед нами вскрываться.

Заслуживает внимания непрерывно идущая в течение поколений научная работа в этой области, в некоторой ее части во всяком случае.

Среди фантастической, иногда патологической и невежественной литературы всегда находятся предвидения будущего.

Некоторые старые представления, хотя бы частью искавшие опоры в научных фактах и в научном опыте, а не являвшиеся только философскими интуициями, гаданиями или выводами из философских построений, приобретают большее значение, чем это раньше казалось. Таковы представления Бюффона XVIII в. об

[1] См.: Вернадский В. Биосфера, Л., 1926, с. 115 и след.

органических молекулах и Бешана XIX в. о микрозимах[1] . Ближайшее будущее сведет в единое целое разрозненно шедшую работу.

21. Из всех этих новых достижений наибольшее значение имеет открытие живых организмов в глубоких водах земной коры, не связанных с ее поверхностью, и в каустобиолитах, биохимически создавшихся в условиях явным образом вне явлений земной поверхности.

Это открытие вошло в наше понимание после 1926 г., когда независимо и одновременно относящиеся сюда наблюдения были опубликованы для нефтяных буровых вод в Северной Америке раньше всего Бастином и у нас в Союзе, в Баку, в лаборатории Н.Г. Ушинского; оно было развито и углублено в этой лаборатории Т. Гинзбург-Карагачевой[2].

Но в действительности это открытие было сделано много раньше и странным образом было забыто. Оно было сделано в водах совершенно другого характера во второй половине XIX в. главным геологом С.-Готардского тоннеля, позже проф. геологии Цюрихского уни-верситета Ф. Штапфом. Впервые бактериальная флора была им встречена в 1870-х годах при прорытии тоннеля; сперва Штапф[3] допускал проникновение ее сверху (из тропосферы) , но в конце концов должен был убедиться в ее глубинном происхождении[4].

В 1918 г. я отметил эти наблюдения Штапфа и указал, что этот вопрос, имеющий такое большое значение для понимания природных явлений, требует исследования[5] . Он гораздо важнее, чем тогда мне думалось. Я не решился тогда (1918 г.) основываться на этом единичном наблюдении, но отнес биогенный сероводород вод тоннеля к первичным, не связанным с земной поверхностью. К первичным же отнесен был мной H_2S и нефтяных вод.

Уже сейчас имеется огромный материал наблюдений, который не оставляет сомнения в грандиозности проявления в земной коре жизни подземных вод и их роли в создании газов — процесса, который сам по себе является одним из планетных процессов, недостаточно оцененных в своем значении.

Области зарождения газов — *газогенные области земной коры* — должны сейчас привлечь все наше внимание.

22. Здесь не место дальше входить в обсуждение этих явлений, я вернусь к ним в другом месте, но все же хочу указать, что введение в научный кругозор этого совершенно нового явления — *биогенного метаморфизма* — сразу вскрывает черты организованности биосферы совсем другого рода, чем мы это до сих пор видели.

Среди газов, которые биохимически здесь создаются, пока выяснены N_2 и H_2S; они выделяются биогеохимической работой анаэробных бактерий, так что можно было бы думать, что глубинная подземная жизнь, связанная с природными

---

[1] О Бюффоне см.: Вернадский В. Очерки геохимии, 1934; о Башане — Ibid., с. 329.

[2] См. литер. указания: Вернадский В. Очерки геохимии, 1934, с. 329.

[3] Stapff F. Zeitschr. d. ges. Naturw., 3, 4, H. 1879, p.581.

[4] Stapff F. Les eaux de tounel du St.Gotthard, Alt., 1891, p. 133-134.

[5] Вернадский В. Опыт описательной минералогии., II., 1918, стр. 80. Здесь же приведены аналогичные нахождения H_2S, которые сейчас должны быть понимаемы по-новому.

газовыми реакциями, ограничена только этого рода специфическими организмами, теряющимися в бесконечном разнообразии живых существ нашей планеты.

Сейчас можно утверждать, что такое заключение преждевременно. Недавно А. Ма- лиянц, Э. Рейнфельд и В. Малышек[1] открыли богатую флору пурпурных, серных, сероводородных, тионовых, денитрифицирующих бактерий — организмов частично аэробных — в водах с глубин 1,3–1,6 км. На эти воды обратил внимание (1933 г.) геолог К. Басилов.

Интерес этого открытия заключается не только в том, что показывает сложность жизни глубинных областей, но и ее чрезвычайную приспособляемость к различным своеобразным условиям глубинной биосферы: воды, в которых живут эти бактерии, радиомезоториевые[2] и должны содержать свободный кислород, радиогенный, создающийся действием α-излучений радия и мезотория и продуктов их распада, неизбежно разлагающих определенное количество молекул воды на свободный кислород и свободный водород[3].

Как попали эти аэробные бактерии в эти глубинные воды, неизвестно, возможно, что они живут в них в течение бесчисленных поколений, но неизбежное использование ими радиогенного свободного кислорода, когда он есть, и мощное их развитие должны явиться одним из проявлений организованности этой части биосферы.

23. Эта организованность выявляется и в другом явлении, характерном для глубоких горизонтов пластовых вод нижних частей биосферы. Глубокие пластовые воды и воды надземных водоемов характеризуются присутствием NH_3 (а не N_2), генезис которого является неясным[4].

Сейчас намечается его объяснение: недавние работы Бассе[5] указывают, что при высоком давлении — при ультрадавлениях (больше 1000 кг/см^2) — все реакции, связанные с образованием соединений, молекула которых имеет меньший объем, чем сумма объемов исходных компонентов, чрезвычайно увеличиваются в своем выходе. В частности, простое увеличение давления резко способствует соединению водорода с азотом и образованию NH_3 без всякого участия катализаторов. При давлении 1000 кг/см^2 в смеси H_2 и N_2 получается 3 % NH_3; при 2000 кг/см^2 — 40 % и т.д. В геологических процессах время практически безгранично и 3 % могут дать огромный эффект.

Свободный азот находится во всех подземных атмосферах. Свободный водород образуется разложением молекул воды, всюду находящимися α-излучениями, про-никающими всю земную материю. Обратная реакция синтеза молекул воды

---

[1] Малиянц А, Малышек В. Доклады Акад. наук СССР, Л., 1935; Малышек В., Малиянц А, Рейнфельд Э., Азерб. нефт. хоз-во. Баку, 1935, № 7-8, с. 38 и след.

[2] Концентрация Ra и MSThI в этих именно скважинах не определена. Необходимо сделать определение Ra и MSThI.

[3] Об этих водах литературу и данные см. Вернадский В. Очерки геохимии. Л., 1934, с. 263, 273 и след.; Он же, Les problemes de la radiogeologie, 1935, p. 35 ets.

[4] Вернадский В. Проблемы биогеохимии. 1. Л., 1935, с. 11.

[5] Basset J. Bull. Soc. chim. de Trance, 5 P. 1935, p.l 17.

не может происходить, когда живые организмы немедленно поглощают образующийся кислород: мы видим здесь характерную черту *организованности*, динамической формы строения биосферы, непрерывно восстанавливающихся, изменяющихся и колеблющихся равновесий. Весьма правдоподобно, что существование подземной жизни, биогенного метаморфизма, является одним из проявлений этих законностей.

Для азота начинает выявляться любопытное равновесие в этой глубокой части биосферы: денитрирующие бактерии разлагают азотистые соединения, может быть, тот же аммиак, и в то же время образование NH_3, только что указанное, дает питательную среду для мощного развития подземной жизни.

Это только начало огромной области вскрывающихся новых явлений.

Надо, таким образом, признать существование нижней границы биосферы где-то между 3-4 км вниз от уровня геоида.

Вероятно, предел кладется температурой кипения воды. Как и верхняя граница биосферы, нижняя определяется прежде всего свойствами воды. Жизнь есть как бы l'eau animée (одухотворенная вода), как ярко в свое время указывал Р. Дюбуа.

24. *Проблема кларков биосферы.* Существование определенных пределов биосферы неизбежно указывает, что атомный состав биосферы имет определенный закономерный состав, так как биосфера отвечает определенному строению земной коры, определенной форме ее организованности[1].

Организованностью я называю такие формы строения, законности которых подвижны, колеблются в известных, строго определенных пределах. Они определяются максимумом и минимумом величины какого-нибудь свойства и средним, которое в пределах короткого, например исторического, времени количественно не изменяется или почти не изменяется. В длительном же, геологическом, времени может меняться и среднее и могут перемещаться пределы — максимум и минимум данной черты строения.

Организованность характеризуется динамическими равновесиями, отражающими все явления в среде, в которой эти равновесия существуют. Эти динамические равновесия как внутри организма, так и внутри биосферы обладают одной характерной чертой, которая отличает их ог механизма, — в них нет никогда тождественности состояний во времени, создается всегда новое, близкое к прошлому, но не тождественное состояние.

Пределы биосферы являются постоянными величинами, ее характеризующими только в таком смысле. Они постоянны — в первом приближении в пределах исторического времени, меняются, может быть незначительно, в пределах геологического времени. Возможно, что в пределах геологического времени мы имеем дело в некоторых случаях организованности, может быть и в биосфере, с однозначным явлением, например с непрерывным увеличением верхней или нижней границы биосферы.

---

[1] Вернадский В. Проблемы биогеохимии. 1. Л., 1935, с. 11.

В таком понимании биосферой будет являться земная оболочка, верхняя граница которой определяется областью, где отсутствуют молекулы воды[1] — примерно на 20-25 км вверх от уровня геоида, а нижняя - областью, где молекулы воды в жидком состоянии существовать не могут, — на глубине между 3-4 км книзу от уровня геоида.

Практически для целого ряда приближенных, но точных исчислений удобно принять за биосферу оболочку мощностью в 20 км выше уровня геоида и 3,8 км ниже его уровня.

25. Я предлагаю как среднее для твердой фазы биосферы 3,8 км, исходя из того факта, что эта величина отвечает средней глубине скоплений ее жидкой фазы — средней глубине Океана.

Реально, как мы знаем, 3,8 км отвечают среднему, слагающемуся из глубин в немного метров в плоских береговых участках моря и впадин больше 10 км в глубинах Океана, узких «рвов».

Примерно такие же отклонения от идеальной величины могут наблюдаться и для всей мощности твердой фазы биосферы.

Нельзя забывать, что все данные, определяющие земную кору, не являются случайными, и не случайность такая средняя глубина Океана (3,8 км) при существовании больших предельных отклонений от средней величины — ничтожных по занимаемому ими пространству.

Можно допустить, что мощность в 3,4 км (ближе к 4 км) представляет какую-то определенную планетную величину, может быть для суши связанную с преобладанием в ней газовой фазы воды — водяных паров. Можно думать, что на глубине 3,8 км от уровня геоида при диссимметрии земной коры[2] температура будет колебаться в пределах от 124° (при среднем геотермическом градиенте, равном 3°, и средней температуре почвы в 10°) до 100° (при геотермическом градиенте в 2,5° и средней температуры почвы, близкой к 0° — вечная мерзлота)[3]. Диссимметрия выражается резко в биосфере такой мощности тем, что в большей ее части (гидросфера) температура нижней ее границы будет близка к 0° и давление будет близко к 1000 мегабар (а одновременно для растворенных в гидросфере газов едва ли больше 3 мегабар), а в меньшей (кора выветривания) температура будет превышать 100° (кипение воды), а давление будет близко к 3000 мегабар.

Может быть, правильно выбрать для расчетов кларков нижнюю границу биосферы не в 3,8 км, а в 4 км, так как нет никаких точных данных считать среднюю глубину Океана геологически резко неизменной во времени («вечной»)[4] . Возможно, что жизнь выходит за пределы дна Океана, так как температура должна здесь медленно повышаться с отходом от его уровня. Круглое число в 4 км удобно для расчетов.

---

[1] Если подтвердятся первые определения русских исследователей.

[2] См. Вернадский В. История природных вод. I. Л., 1933, с. 42.

[3] Эти числа только примерные.

[4] См.: Vernadsky W. M. Miner.u.Petrogr. Mitteil., 44, 1933, p.173.

В то же время температура кипения водных природных растворов должна быть в условиях солевого состава и давления глубинных вод много выше 100° [1].

Увеличение нижнего предела биосферы до 4 км увеличит только значение Si, Fe, AI, Mg при геохимических расчетах, и то в незначительной степени.

26. Таблица кларков, названная так А.Е. Ферсманом[2], определяет средний атомный (элементарный) состав верхней части земной коры в 16 км мощностью. Она отвечает примерно 7% среднего элементарного состава Ок**с**ана и 93% литосферы, отвечающей кислой массивной породе — гранодиориту[3] .

Я не могу здесь останавливаться на критике таблицы Кларка. Это завело бы далеко в сторону. Она сыграла очень большую роль в геохимии, так как позволила количественно подойти к проверке на природных явлениях многочисленных проблем, связанных с миграциями, с разрежениями и со сгущениями земных атомов в окружающей нас части земной коры.

Самым слабым местом в исчислении кларков является принятая для этого Ф. Кларком мощность «земной коры». 16 км, которые он принял, так же как и другие исчисления, принимающие 20 и больше км[4] , очень условны и не могут быть точно обоснованы.

Кларк[5] интересовался *средним* химическим составом геологически доступной земной коры, и для него было важно уменьшить влияние явно отличных от средних кларков верхних ее участков (т.е. биосферы). Он принял 5 % от массы литосферы для осадочных пород и 7 % от массы земной коры для гидросферы. Новые геофизические данные для распространения кислых пород под сушей и преобладания основных пород под океанами заставляют внести поправки в эти числа кларков, которые, однако, до сих пор не сделаны; эти поправки только отчасти, впрочем, могут быть количественно точно учтены.

Но главное то, что мощность «земной коры» Кларка не имеет реального обоснования в строении — в организованности — планеты.

«Земная кора», как нечто геофизически определенное, близка по мощности 60 км, а не 16. Она является верхней планетной концентрической областью[6] , если ионосфера идет до пределов газовой оболочки планеты, что сейчас неизвестно. Ниже ее идет до глубины по крайней мере 1200 км другая концентрическая планетная область более основных и тяжелых пород или отвечающих им стекол (перидотито- вых?), разно представляемая сейчас геологами и геофизиками[7].

---

[1] См.: Вернадский В. История подземных вод, I, Л., 1933-1936, с. 561.

[2] Ферсман А. Геохимия. 1. Л., 1934.

[3] См. изложение наших современных знаний у А.Е. Ферсмана: Ферсман А. Геохимия, I. 2-е изд.. Л., 1934; II, Л., 1934.

[4] Вернадский В. Очерки геохимии, Л., 1934, с. 25.

[5] Clarke F. Data of geochemistry, 5 ed. W., 1924, p.22.

[6] Я решился внести это новое понятие, для которого разные исследователи употребляют разные термины. См.: Ферсман А. Геохимия. I, 2-е изд.. Л.. 1934, с. 286 и след.

[7] Ферсман А.Е. (op.cit) дает обзор главнейших современных представлений.

Земные оболочки и геосферы известны нам пока только в земной коре, лишь для верхней планетной области.

Числа Кларка относятся к верхней части земной коры, но не дают понятия о всей, ей отвечающей концентрической планетной области, а тем более о проявлениях ее организованности — строения земной коры — ее *оболочек*.

Геофизически эти числа — кларки Ферсмана — недостаточно определены.

27. Земная кора может быть характеризована пятью концентрическими оболочками[1]:

1) ионосфера,
2) биосфера,
3) метаморфическая оболочка,
4) гранитная оболочка,
5) базальтовая оболочка.

Выявляемые сейчас пределы биосферы охватывают вышележащую стратосферу и нижележащую стратисферу[2] .

Представляется сейчас возможным количественно определить химический элементарный состав всех этих оболочек земной коры, за исключением ионосферы, вычислить их массу и определить для них количество атомов.

Наиболее сложно это для биосферы, которая (подобно ионосфере?) находится в непрерывном движении, определяется закономерными миграциями химических атомов.

28. Очевидно, состав биосферы будет резко отличаться и от состава 16 верхних километров земной коры (таблица Ф. Кларка), и еще более от состава всей земной коры (около 60 км мощностью).

Это ясно хотя бы потому, что значение массы Океана увеличится в составе биосферы, куда она целиком входит, почти втрое по сравнению с земной корой Кларка. В то же время значение осадочных пород в литосфере, составлявших, по исчислениям Кларка, 5%, в составе биосферы превысит 25,8 %. Увеличивается значение массы живого вещества, почв и т.д.

Таблица кларков для биосферы должна иметь совершенно другой вид, чем таблица кларков для верхних 16 км земной коры. Может быть, она будет близка к химическому составу живого вещества[3] .

Она должна дать прочную опору для изучения биогеохимических явлений, так как биосфера всецело охвачена жизнью и влияние жизни в форме органогенных минералов и процессов целиком ее охватывает. Фантастические уже и при их обнародовании представления Ламарка (1801 г.)[4] , благодаря его борьбе с новой химией Лавуазье, о значении жизни для создания материальной среды жизни заключают большое зерно истины: биосфера в своем элементарном составе в

---

[1] Ср.: Вернадский В. Очерки геохимии, 1934, с. 61; Он же. Труды Всесоюз. конф. по стратосфере. Л., 1935, с. 575.

[2] Раньше считавшиеся мной независимыми оболочками.

[3] Ср.: Виноградов А. Труды Биогеохим. лаб. Акад. наук СССР, 1935. Т. 3.

[4] Lamarck. Hydrogeologie, P., 1801.

значительной мере определяется жизнью и определяет жизнь. Ламарк сознавал значение жизни для создания ее материальной среды. Ламарк толковал это явление иначе, так как он не принимал химических элементов Лавуазье и считал, как и многие другие в первой трети XIX в. — сто лет назад, что живые организмы могут сами создавать нужные им зольные части (например, металлы). Это допускали тоже позже такие ученые, как Ж.Б. Дюма или А. Сьнядецкий. Но Ламарк был прав в оценке процессов жизни для создания верхней части вещества планеты. Он правильно оценил это планетное явление.

Связь состава биосферы с жизнью одна уже заставляет стремиться к точному определению массы и числа разнородных атомов, ее создающих.

Но помимо этого, таблица кларков биосферы имеет первостепенное значение для основных проблем геологии, почвоведения, гидрологии, так как все наше знание окружающего исходит из познания биосферы, с которой мы генетически связаны. Ее создание имеет *основное значение* для учения о полезных ископаемых, прикладных минералогии и геологии.

Создание этой таблицы поставлено сейчас как конкретная задача (в части живого вещества) Биогеохимической лабораторией Академии наук СССР в программу работ 1936 г. Но для нее одной эта задача в целом непосильна, она может быть решена в немного лет только при широкой совместной работе с другими научными институтами — Ломоносовским, Петрографическим, Почвенным, Геологическим Академии наук СССР, институтами Гидрологическим, Радиевым и Океанографическим.

Такая организация должна быть и, надеюсь, будет создана уже в 1936 г.

Прага
Сентябрь 1935

Наукове видання

Вибрані наукові праці академіка В.І. Вернадського

Том 4
Геохімія живої речовини
Книга 1

Затверджено до друку
Вченою радою Інституту зоології ім. І. І. Шмальгаузена Національної академії наук України

Редакційна колегія тому:
І.А. Акімов, член-кореспондент НАН України (голова);
Е.В. Соботович, академік НАН України;
А. М. Голубець, академік НАН України;
Д. М. Гродзинський, академік НАН України;
Ю. П. Зайцев, академік НАН України;
Г. Г. Полікарпов, академік НАН України;
В. Д. Романенко, академік НАН України;
К. М. Ситник, академік НАН України;
Я. П. Дідух, член-кореспондент НАН України;
В. М. Єгоров, член-кореспондент НАН України;
І. Г. Ємельянов, член-кореспондент НАН України;
А. П. Травлєєв, член-кореспондент НАН України;
Г.Є. Шульман, член кореспондент НАН України;
І. В. Довгаль, доктор біологічних наук;
В.В. Долін, доктор геологічних наук,
С. В. Межжерін, доктор біологічних наук;
О. О. Протасов, доктор біологічних наук;
В. О. Харченко, доктор габілітований

Автори вступної статті до тому:
Е.В. Соботович, І.А. Акімов, В.В. Долін

Автори-укладачі:
І.А. Акімов, В. О. Харченко, В.В. Долін, Г. Г. Полікарпов, І. В. Довгаль,О. О. Протасов, В. М. Єгоров, С. В. Межжерін

Оригінал-макет:
О. Цудзинович

Друк ТОВ «Велес»
03191 м. Київ, а/с 122.
Свідоцтво К1 № 94 від 18.12.2006 р.

Підписано до друку 29.05.2012. Формат 70x100/16.
Ум. друк. арк. 66,2. Обл.-вид. арк. 64,0.
Наклад 750 прим. Зам. 133/12.