

Акад. В. И. ВЕРНАДСКИЙ

# ИСТОРИЯ МИНЕРАЛОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Том второй

ИСТОРИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

Выпуск I



ГОСХИМТЕХИЗДАТ  
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
1933

**В. И. ВЕРНАДСКИЙ**

# **ИСТОРИЯ МИНЕРАЛОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ**

**Том второй**

**ИСТОРИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД**

**ЧАСТЬ ПЕРВАЯ**

**Выпуск I**



**ГОСХИМТЕХИЗДАТ  
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
1933**

X 27, 5, 4

## ОТ АВТОРА

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ему кажется, что огромная масса новых данных, в этой области добытых, — в частности анализом минералов в X свете, оставляет неизбежными в основном созданные им больше 30 лет тому назад представления о строении природных силикатов и алюмосиликатов, как о сложных алюмокремневых (и аналогичных) кислотах, их солях, их ангидридах и продуктах присоединения к ним и о выявлении среди природных минералов трех главных, резко различных по структуре, тел — соединений каолинового ряда, хлоритов и хлоритоидов. Каолиновые силикаты обладают кольцевым строением, хлориты и хлоритоиды обладают строением цепи.

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

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

Старый Петергоф.  
Сентябрь 1931 г.

## ВТОРОЙ ОТДЕЛ МИНЕРАЛОВ

### Водородистые минералы (гидриды)

#### ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

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

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

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

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

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

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

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

И в то же время, выделенные отдельно, они имеют между собою общие химические черты. Все они являются водородными соединениями,

значение которых недостаточно оценивается обычно и в химии, но которые должны иметь особое значение в химии планет и небесных светил вообще, так как водород среди всех элементов занимает в химическом строении мироздания совершенно особое, несравнимое с другими элементами господствующее положение.

По тем обрывкам знаний, какие мы имеем о химии мироздания, это значение имеют атомы и молекулы свободного водорода, однако есть указания, все увеличивающиеся, на такое же значение и его соединений. В спектрах звезд имеются указания на существование водородистых соединений,—повидимому гидридов,—тел, устойчивых при высоких температурах и характерных для этих термодинамических областей, как это начинает выясняться и в наших лабораториях. В космической пыли, в метеоритах и в кометах несомненно присутствие углеводородов.<sup>1</sup> Химия планет, метеоритов, может быть космической пыли указывает на распространение и наличие воды.

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

Повидимому, изучая явления верхней ее оболочки, мы не имеем еще полного о нем представления. Мы не знаем среди минералов водородистых металлов, но логически признаки их существования указывались не раз при толковании генезиса ювенильных минералов и объяснении природных химических процессов. Наши представления о термодинамических и химических условиях глубин нашей планеты заставляют нас видеть в них среды, благоприятные для устойчивости, для существования водородистых тел. Здесь активность химических реакций уменьшается, кислород быстро сходит на нет, начинают все более и более преобладать металлы типа железа, и повидимому растет количество водорода. В то же самое время температура и давление повышаются. Все это может приводить к образованию и сохранению в этих глубинах водородистых соединений.<sup>2</sup>

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

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

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

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

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

Другим признаком выделения минералов группы является способность входящих в нее тел давать растворы. Очевидно с минералогической

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

<sup>2</sup> В том числе растворов водорода в металлах.

точки зрения разные растворы — воды и углеводов — должны быть рассматриваемы как отдельные минералы.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- I. Соединения водорода с кислородом.
  1. Группа природной воды.
  2. Перекись водорода.
- II. Соединения водорода с азотом.
  3. Аммиак.
- III. Соединения водорода с серой.
  4. Группа сероводорода.
- IV. Соединения водорода с углеродом.
  5. Группа природных углеводов.
- V. Соединения водорода с галоидами.
  6. Хлористый водород.
  7. Фтористый водород.
  8. Иодистый водород?



## VI. Соединения водорода с фосфором.

### 9. Фосфористый водород.

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

Характерно, что в природных водородистых минералах, нам известных, находятся только легкие элементы. Самый тяжелый хлор, ат. в. 35,46.

Я остановлюсь главным образом на четырех первых типах.

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

---

# Бинарные соединения водорода и кислорода

## ПРИРОДНАЯ ВОДА

### I. Значение воды в строении земли

#### 1. Особое положение воды в истории земли

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

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

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

Природная вода охватывает и создает всю жизнь человека. Едва ли есть какое-нибудь другое природное тело, которое бы до такой степени определяло его общественный уклад, быт, существование.

8. Это связано с ее исключительной массой и с исключительной подвижностью ее молекул.

Мы живем в биосфере — в водной оболочке (§ 41). Вода в ней по массе составляет несколько процентов, и хотя ее количество уменьшается с глубиной, все же порядок процентного содержания ее сохраняется на несколько десятков километров вглубь от земной поверхности.

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

Вода отличается — при большой массе — исключительной подвижностью. Это одно из немногих тел — чуть ли не единственное, которое может находиться на Земле во всех трех физических состояниях — в твердом, жидком и газообразном в биосфере, в жидком и в газообразном — в стратиффере и в метаморфической оболочке, в газообразном — глубже. Распространение газообразного состояния воды во всех оболочках уже одно

придает ее молекулам чрезвычайную подвижность и связывает в единое целое все нахождения воды.

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

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

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

Ею вызывается — и отчасти ею создается — электрическое поле планеты, ее атмосферы. В огромных вольтажах, нигде и никогда на земле не превосходимых, развиваемых грозами, десятки тысяч которых непрерывно в каждый момент находятся в действии, проявляется лишь одно из многих электрических ее созданий. Правильное понимание ее значения в этой области еще впереди, но и сейчас ясно, что современная научная мысль не в состоянии еще выразить его во всем его размахе.

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

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

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

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

природные газы  $\rightleftharpoons$  природные воды.

Газы растворяются в воде, — вода испаряется в газовую земную оболочку.

На границе газа и воды создается и вечно идет непрерывный закономерно выражаемый ток молекул.

По обе стороны границы — этой неоднородной среды — создаются молекулярными силами газа и воды две однородных подвижных системы — газовый водный раствор и проникнутая водными парами атмосфера.

Газами проникнута вся доступная непосредственному изучению часть земной коры, и везде, где встречается газ и природный водный раствор, образуются те же по форме две однородные подвижные системы, находящиеся во взаимодействии.

Лишь мысленно можно разделить при нашем изучении природную воду и природные газы. Они всегда проникают друг друга и взаимно определяют все свойственные им явления.

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

11. Также стихийно и неотвратимо под влиянием молекулярных сил воды и твердого тела устанавливаются при их соприкосновении новые, особые, более сложные, чем равновесие

природный газ  $\rightleftharpoons$  природная вода,

разнообразные равновесия иного порядка:

природная вода  $\rightleftharpoons$  твердые тела Земли.

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

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

Равновесия

природные воды  $\rightleftharpoons$  природные твердые тела

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

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

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

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

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

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

12. Другим положением, определяющим равновесие

твердое тело  $\rightleftharpoons$  природная вода,

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

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

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

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

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

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

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

Для наземных вод можно в подавляющей массе случаев ограничиться равновесием

твердое тело  $\rightleftharpoons$  капельножидкая вода.

Для подземных неизбежно принимать во внимание более полную и сложную форму

твердое тело  $\rightarrow$  молекулярная  
 пленчатая вода  
 $\downarrow \uparrow$   
 волосная  $\downarrow \uparrow$   
 пленчатая вода  $\rightleftharpoons$  капельножидкая вода.

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

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

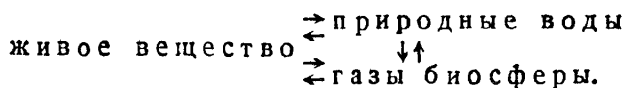
Одновременно меняется твердое тело. Два процесса должны быть различены здесь. Во-первых, в него могут химически вступать молекулы воды, — идет процесс гидратации. Едва ли случайно, что обладающие этим свойством минералы сконцентрированы в биосфере и в стратисфере.

С другой стороны, идет процесс дробления твердого вещества физико-химическими частичными силами воды (водного раствора) без разрушения

его молекул, при участии гидратации. В тончайшем раздроблении твердого вещества образуются коллоидальные системы, в которых проявляются поверхностные — волосные — свойства твердого вещества — кристалла, — те, которые вызывают создание молекулярно-пленчатой воды, — но здесь они захватывают почти всю массу твердого вещества благодаря его раздроблению. Размеры частиц раздробления подходят к размеру молекул. Водный раствор и коллоидальный водный раствор дают переходы. С другой стороны, коллоидальные сгустки и студни дают переходы в продукты гидратации.

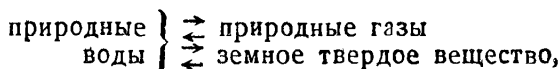
Коллоидальные системы охватывают области, где преобладают водные массы — осадки дна водных бассейнов, почву суши, — образуя ими обогащенную, облекающую всю планету, земную оболочку. В тонком ее слое сосредоточены колоссальные скопления свободной энергии, проявления химических и частичных свойств вещества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

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



Между ними идет непрерывный вещественный и энергетический обмен.

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



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

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

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

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

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

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

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

Явления размытия — денудация — и явления переноса и отложения — седиментация, связанные с движением и с химическими воздействиями вадозной воды, с геологическими передвижениями океана,

создают осадочные породы — стратисферу, подстилающую сушу и прибрежные океанические участки коры — „моря“.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Свойства физико-химические молекул воды совершенно исключительны среди всех сотен тысяч известных нам химических соединений.

Едва ли может быть сомнение, что такое положение воды обусловлено строением ее атомов и прежде всего водорода. Окись водорода, каковой химически является вода, представляет по процентному составу атомов одно из наиболее богатых водородными атомами тел природы; две трети ее атомов состоят из водорода. Атомы водорода стоят — по своему строению — особняком среди всех остальных атомов, строящих вселенную. Их свойствами очевидно обусловлено и то особое положение, какое в системе химических тел занимают все соединения с преобладанием атомов водорода — такие, как вода, аммиак, метан (§ 1 сл.).

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

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

Она дает большие массы земного вещества, тогда как еще более богатые водородными атомами природные тела — аммиак и метан — отходят на нашей земле на второй план. В то самое время, как кислород составляет 53,8% атомов земной коры, водород — 17,2%, азот не составляет и 5.10<sup>-2</sup>% их количества, а углерод близок к 5.10<sup>-1</sup>%.

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

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

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

Непрерывно — как в поле биосферы, так и в поле земной коры вообще — вода меняет свое физическое состояние — пар, жидкая вода, лед. Все время ею создаются и разрушаются этим путем грандиозные и разнообразные динамические новые подвижные равновесия.

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

Пары воды еще глубже сказываются на лике планеты.

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

Отвечающие им процессы характеризуют историю земли, как планеты.

Благодаря вымораживанию и испарению воды, постоянно совершающимся, все основные равновесия природных вод — „вода ↔ твердые тела“, „вода ↔ газы“, „вода ↔ живое вещество“ — непрерывно меняются.

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



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

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

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

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

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

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

## 2. Природная вода в минералогии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 3. Природная вода в ходе времени

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

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

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

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

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

С самых древних геологических отложений, с архейской эры, не только в общем состав и формы нахождения воды должны были быть аналогичны современным, но и ее количество должно было быть тем же или близким. Иначе это сказалось бы в тех многочисленных минералах, которые с ней связаны в своем образовании. Но эти минералы все те же в свойствах, в количественном соотношении и в парагенезисе на протяжении всей геологической истории. Сохранение неизменным в геологическом времени парагенезиса, т. е. минеральных ассоциаций, образующихся при участии воды, доказывает с большой точностью неизменность количества воды в биосфере в течение этого времени.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

К этому я вернусь ниже (§ 68).

#### 4. Вода в космосе

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

П. Драверт (1921)

30. Факт неизменности исключительного значения воды в механизме земной коры в течение всего геологического времени неизбежно выдвигает перед нами — не только в космогоническом, но и в научном аспекте — проблему воды в космосе, ее значения в химии других, кроме Земли, небесных тел.

Мы можем и должны ставить эти вопросы, так как поверхностные части небесных тел — в том числе земная кора — не являются случайными явлениями, и в их проявлениях мы имеем общие повторяющиеся закономерные черты (Вернадский, 1926).

Эта повторяемость выражена и для воды.

Вода наблюдается на поверхности не только одной Земли, но и других планетных тел.

Так она указана на Марсе, где повидимому она встречается во всех трех фазах — снега, паров и жидкости, и на Венере, где может считаться констатированным ее нахождение в виде туч и облаков земного строения.<sup>1</sup> Допустимо ее нахождение и на Юпитере.

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

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

31. Вода повидимому существует и в других космических телах в форме, отличной от известной для планет. Так прежде всего необходимо повидимому признать ее нахождение в форме волосной воды в метеоритах.

К сожалению безусловной достоверности эти указания не имеют. Анализы для огромного большинства каменных метеоритов дают указания на нахождение в них воды, но ни точного изучения этой воды, ни уверенности в невозможности ее позднейшего происхождения уже в пределах нашей планеты — пока нет.

Судя по средним числам анализов (0,75% потеря от прокаливания по Меррилю и 0,20% воды по Фаррингтону), содержание воды в метеоритах не отвечает среднему содержанию воды в горных породах земной коры, — оно много меньше.

Этого и надо ожидать, так как в метеоритах нет минералов, заключающих конституционную воду, — вода вся должна быть волосной. Возможно таким образом, что содержание такой волосной воды одно и то же в земных породах и в метеоритах.

Вопрос требует сейчас тщательного исследования особенно потому, что в метеоритах мы имеем дело, возможно, с телами, чуждыми нашей солнечной системе.<sup>2</sup>

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

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

Космогонические представления в общем выходят за пределы этой книги.

Однако с ними необходимо считаться, когда они входят — в той или иной своей форме — в столкновение с установленными в минералогии фактами, или когда они открывают в изучаемой области явлений такие проблемы, которые могут быть сейчас же подвергнуты научной проверке.

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

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

Эти проблемы необходимо иметь в виду при установлении научных фактов.

По отношению к природной воде из области космогонических исканий и представлений надо остановиться на немногих. Таково представление о том, что небесные тела, в частности планеты, в своей истории проходят стадии обогащения и потери воды. Исходным явилось наблюдение отсутствия водных паров на Луне.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Поэтому приобретают особое значение и одиночные—хотя бы случайные—наблюдения, на это указывающие, и не могут быть оставляемы

вполне без внимания космогонические построения, придающие особое значение воде, как бы они ни казались нам фантастичными.

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

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

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

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

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

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

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

В то же время допустимыми представляются случаи падения метеоритов совместно с градинами или в градинах.<sup>1</sup> Научная мысль не останавливается перед этими явлениями. Сейчас нельзя даже ни утверждать существования этих явлений, ни отрицать их: критически материал не проверен. Сколько можно судить — все же нет ни одного указания, не возбуждающего сомнений или вполне ясного с фактической точки зрения.<sup>2</sup>

Надо однако сейчас допускать, что вопрос о космическом происхождении некоторых (определенных типов) градовых падений не может

<sup>1</sup> Существование ледяных метеоритов, если бы оно было доказано, отнюдь не явится каким-нибудь доказательством фантастической космогонии, противоречащей научным фактам, но пользующейся сейчас наряду с теософскими и философскими представлениями о мироздании довольно большим успехом в среде образованного общества, главным образом в Германии. Эта космогония была создана в последнее время инж. Гербигером и вызвала целую литературу, имеющую отголоски и в научной работе (проф. Даккэ). Это — так называемое учение о „мировом льде“ (Welt-eislehr), или „гласиальна космогония“. Согласно идеям Г. Гербигера и Ф. Фаута (1913 сл.) вода — главным образом в форме льда — является одним из основных тел мироздания, ее свойствами и ее переходами в другие физические состояния обусловлены самые грандиозные космические явления. В частности из льда состоит Луна и падающие звезды; огромное скопление ледяных метеоритных потоков находится за пределами Нептуна. Многочисленные физико-географические и геологические явления (в том числе ледниковые периоды) связываются с учением о мировом льде. Противоречие с огромным количеством научно установленных фактов не мешает ее успеху, что объясняется непривычкой огромных масс населения научно мыслить.

<sup>2</sup> Достоверных случаев автор не знает. Проверка града около Стерлитамака, описанного проф. Эверсманом, 1824 года, произведенная И. С. Остаповичем под руководством автора, приводит к отрицательному результату.

считаться решенным и требует внимания и проверки. Его решение имеет огромный научный интерес.

37. Нельзя не учитывать и иных космических сторон вопроса.

Во-первых, возможен обмен между молекулами воды — земной и космической — и, во-вторых, обмен пылевыми тончайшими исходящими планеты и космической пылью.

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

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

## 5. Природная вода в земной коре

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

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

Эту группу удобно рассматривать как единое целое.

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

Подобно тому как газы земли находятся между собою в реальной связи и составляют единое целое, составляют единое целое и все сотни природных вод.

В сущности, это — единое тело, хотя и разъединенное на отдельные части.

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

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

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

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

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

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

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



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

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

При их установлении не принимают во внимание особого строения гравитационного поля планет, в том числе и Земли. В планетах существуют совершенно определенные области, где может существовать вещество в тех физических состояниях, в которых мы только привыкли его и мыслить: в жидком, твердом и газообразном. Эту область планеты можно назвать ее фазовым полем. По мере удаления вверх от уровня Океана (поверхности геоида) возможность тончайших жидких и твердых выделений любых молекул, в том числе и воды, все уменьшается; может существовать только разреженный газ. Но на некоторой высоте и разреженный газ — пары воды — теряет свой привычный нам характер: свободный пробег молекул становится так велик, что нельзя говорить о газовом состоянии материи. Здесь его предел, здесь область лучистой материи Фарадея и Крукса. О воде здесь говорить не приходится: у нас на Земле на сотне, другой километров высоты от уровня геоида. И в тоже время нельзя говорить о воде на нижней границе земной коры, на глубине около 60 километров от уровня геоида, где господствует огромное давление, превышающее 30 000 атмосфер на квадратный сантиметр. При таких давлениях различия между твердым, жидким и газообразным состоянием скоплений молекул стирается — сами молекулы меняются. Получаются пластические, упруго твердые как сталь тела, о которых мы не имеем реального представления. Говорить здесь о воде не приходится, т. к. нет места и для волосного проникновения воды. В этих глубинных областях планеты под влиянием давления господствуют только химически-однородные массы: единое однородное тело.

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

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

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

Если концентрация воды в земной коре по сравнению с земным шаром возможна при определенной структуре планеты, ее концентрация

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

в биосфере несомненна. Здесь идет не только увеличение ее количества, но и образование единой огромной массы, почти половины всей воды верхней части земной коры (до 20 км), в форме единого океана.

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

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

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

42. Это будут прежде всего отдельные жидкие, твердые, газообразные водные оболочки, связанные с разным физическим состоянием воды. Можно отличить в земной коре действительно области, в каждой географической точке которых мы можем—в зависимости от ее положения от уровня океана—найти воду в одном из этих состояний. Беря разные геосферы—биосферу (тропосферу, гидросферу, кору выветривания), стратосферу (и вольную атмосферу), стратисферу, метаморфическую оболочку, магмосферу (ср. т. I, § 32, добал.), можно убедиться, что если данная фаза воды в ней существовать может,—она находится в ней всюду.

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

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

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

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

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

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

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

Гидросфера — всемирный океан — составляет лишь часть биосферы.

Огромная ее масса, в форме раствора определенного химического состава, покрывает — в средней мощности 3,8 километра — почти три четверти поверхности биосферы. Эта глубина достигает в отдельных участках 10,79 километров.

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

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

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

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

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

водные растворы  $\longleftrightarrow$  твердые тела

верхних частей суши в форме пластовых вод.

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

Жидкая водная оболочка в едином равновесии распадается на две части: морская вода  $\longleftrightarrow$  сотни водных растворов суши.

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

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

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

На суше, как самостоятельная форма скопления жидкой воды, выявляется живое вещество, главным образом зеленая растительность,

масса которой достигает порядка  $10^{19}$ — $10^{20}$  г, и в ней заключается 80—95% капельножидкой воды.

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

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

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

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

твердое вещество суши  $\rightleftharpoons$  природный водный раствор.

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

Вся суша покрыта — в пределах коры выветривания — почвой, и почвенный а также подпочвенный раствор является характерной формой проявления капельножидкой воды, играющей огромную роль в водном механизме планеты, определяющем существование живого вещества, состав ее рек и через них солевой состав морской воды.

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

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

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

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

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

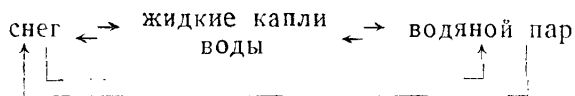
Характерное строение этих мельчайших капель и связанные с ними проявления электрических полей совершенно оправдывают сравнение этих грандиозных структур со структурами коллоидальными, в частности с эмульсиями.

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

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

Но значение этой жидкой воды огромно вследствие ее подвижности.

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



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

48. Жидкая оболочка атмосферы повидимому охватывает всю тропосферу до ее пределов, до 9—13 километров над земной поверхностью.

Хотя температура на границе тропосферы очень разная, для высот 8—10 километров колеблется от  $-19^\circ \text{C}$  до  $-52^\circ \text{C}$  и ниже до  $-98^\circ \text{C}$ , — все же вода в мельчайших каплях может здесь находиться в жидком переохлажденном состоянии.<sup>1</sup>

К тому же эта вода является раствором, и возможна в образовании ее капель роль гигроскопических компонентов, например,  $\text{CaCl}_2$ .

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

В верхних частях стратосферы температура сильно подымается, достигая порядка выше  $35^\circ$ . Там может находиться жидкая вода, но о воде в этих разреженных газах мы ничего не знаем.<sup>2</sup>

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

Здесь вода является частью того своеобразного механизма, какое представляет из себя равновесие — твердое тело  $\rightleftharpoons$  природный раствор, — и о котором уже несколько раз мне пришлось говорить (§ 11).

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

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

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

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

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

Таким образом до предела выше 10 километров от земной поверхности (до 13, 5?) могут встречаться капельюжидкие воды, при чем уже на глубинах около 3 километров она может находиться только в перегретом

<sup>1</sup> Низкая температура стратосферы создается повидимому прежде всего свойствами водяных паров, которые поглощают наиболее интенсивные тепловые лучи солнца.

<sup>2</sup> Высокая температура этих слоев связана с озоном, поглощающим наиболее холодные лучиспускания солнца. Озон связан в своем генезисе с парами воды.

состоянии,<sup>1</sup> по сравнению с химически чистой водой, что вполне возможно благодаря давлению и соленому или рассольному ее составу.

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

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

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

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

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

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

30 километров есть максимальная мощность области ее проявления.

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

Водная газовая оболочка существует во всякой геосфере.

Но масса водяного пара в пределах верхних 20 километров земной коры, сколько можно судить, меньше массы жидкой воды, меньше массы океана.

В самых нижних частях земной коры — за пределами критической температуры жидкой воды (§ 299) — свойства паров воды должны приближаться к свойствам совершенного газа. Высокое давление этих областей мешает нам конкретно представлять себе эти состояния воды.

Вверх водяные пары проникают в разреженную стратосферу и должно быть в еще более разреженную теплую область — вольную высокую атмосферу. Может быть они могут подыматься из нее в космическое пространство?<sup>2</sup> И может быть попадать в нее и из него?

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

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

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

<sup>1</sup> Э. Принтц (1923) допускает существование жидкой воды до 18,5 км и при температуре 6000 С. Это вычисление основано на экстраполяции, попытки которой возбуждают сомнения. Не принята во внимание пластичность пород. Вода здесь вероятно должна находиться в пленчато-волосном состоянии. Ср. § 647 сл.

<sup>2</sup> Высокая температура вольной атмосферы должна этому способствовать.

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

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

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

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

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

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

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

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

Для  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{N}_2$  (§ 541, 559 сл.) мы знаем, что с углублением в земную кору они — особенно первые два — уменьшаются; возможно увеличение, с глубиной, углеводов ( $\text{CH}_4$ ). Но для  $\text{H}_2\text{O}$ , как это видно из нижеследующих замечаний, нет никаких указаний на уменьшение паров воды с глубиной. Наоборот, их содержание в массе подземной атмосферы увеличивается.

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

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

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

Значительная часть стратисферы — ее большая часть — лежит в областях, температура которых не достигает или мало превышает  $100^\circ$ . Это область в среднем до 3—3,5 километров глубины от земной поверхности, т. е. примерно до средней глубины гидросферы.

Здесь приходящие снизу — из глубоких частей стратисферы (до 8—10 килом.?) и из метаморфической оболочки или из среды самой стратисферы — из магматических очагов, остановившихся в стратисфере и в ней переходящих в горные породы — водяные пары сгущаются в жидкость.

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

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

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

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

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

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

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

Пары становятся „менее пресными“, богаты кислотами (HCl, HF, H<sub>2</sub>S) и дают при сгущении кислые воды, быстро дающие соленые растворы при соприкосновении с окружающими породами.

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

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

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

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

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

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

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

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

Ниже ее температура уменьшается и благодаря давлению около границы земной коры — 60 километров — вода, как и другие вещества, находится в состоянии, не подходящем к понятиям жидких, твердых и газообразных тел (§ 39, 306).

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

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



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

Все же прав А. Добровольский (1924), говоря о существовании на нашей планете криосферы — ледяной оболочки. Она сосредоточена в биосфере. Ее наиболее яркую форму дают подвижные снежные тучи и рассеянные на неогримых пространствах снежинки тропосферы и за областью собственно биосферы снежные массы стратосферы.<sup>1</sup>

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

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

снег  $\longleftrightarrow$  капли воды.

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

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

Лед покрывает мощным слоем в десятки и сотни метров толщиной в виде ледников около  $16.3 \times 10^6$  квадратных километров ( $16318 \times 10^3$  по Гессу<sup>2</sup> и Коссинна) т. е. значительную часть суши. Этот ледниковый покров составляет более 3% всей земной поверхности [3,20%, исходя из чисел, принятых Э. Коссинна (1921)]; около 1% всей суши (1,095% из тех же данных). Целый материк — Антарктика, превышающий по размерам Европу и Австралию вместе взятые —  $14.1 \times 10^6$  км, покрыт сплошным ледниковым покровом.

За пределами этого ледникового покрова — материкового льда и ледников альпийского типа — миллионы квадратных километров в северном полушарии — в Северной Америке и в Сибири, и в южном — на оконечности Южной Америки и на островах, заняты вечной почвенной мерзлотой. В нашем Союзе ею охвачено около  $\frac{1}{2}$  площади его поверхности. По исчислению М. Сумгина (1930), ею занято более  $9.5 \cdot 10^6$  квадрат. километров (9657960 — исчисление Н. Лебедева под его руководством). Учитывая и остальную площадь мерзлоты, мы получим величину одного порядка с ледниковым покровом, т. е. больше 20% суши занято ледниками и мерзлотой.

Около полюсов огромные площади морей и океана заняты скоплениями льда, покрывающего в значительной части острова, в частности такие как Гренландия, и целый континент — Антарктику. Около них моря и части океана покрыты подвижным и неподвижным льдом. Большая часть этого

<sup>1</sup> Облака (снежные?) существуют (наблюдались) на высотах до 30 километров (Störmer, 1932).

<sup>2</sup> Исходное число Г. Гесса (1904). Внесена поправка на площадь Антарктики, уменьшенной у Гесса по числу, принятому Э. Коссинна (1921).

льда (в преобладающем числе — плавающие льдины) — земного происхождения; но часть льда — соленый морской лед — происходит путем замерзания морей. Эта область на севере опускается до  $80-85^{\circ}$  с. ш., а на юге подымается до  $65^{\circ}$  ю. ш.

Океан приполярных областей покрыт льдом иногда на большом пространстве, и лед длится непрерывно, столетиями или тысячелетиями, например, Россов барьер в Антарктике (§ 473), известный нам более ста лет, почти неподвижный, площадь которого (больше 500 000 кв. километров) превышает Балтийское море. Толщина этого льда достигает 250—300 метров.

Но помимо этих малоподвижных ледяных скоплений с обеих приполярных стран идет непрерывный, закономерный, с закономерно меняющимся темпом, ток на север и на юг „ледяных гор“. В год движется этим путем до  $1 \cdot 10^{16}$  г льда (О. Б а ш и н, 1927). Они медленно тают, приближаясь к  $40^{\circ}$  с. и ю. широт, но заходя и далее, ближе к экватору. С севера проходит в год, по О. Крюм мелю, 20 000 кубических километров льда в этой форме, с юга — 30 000 кубических километров (J. W o w n a n, 1930) — всего 50 000 кубических километров.

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

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

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

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

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

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

Глубоко внутри биосферы и в верхнюю стратисферу ледяные массы идут в исключительных случаях и редко находятся на глубинах, много превышающих 100 метров от земной поверхности. Но явление это очень плохо изучено для того, чтобы этот вывод мог считаться вполне установленным. Эти нахождения могут наблюдаться в области вечной почвенной мерзлоты и в форме ископаемого льда, поребенных ледников в связи с замиранием ледниковых покровов. Есть указания для древних ледниковых отложений Северной Америки о продолжающемся в их толще таянии ископаемого льда, дающего начало источникам с холодной водой, получаемой при бурении (ниже  $3^{\circ}$  С по Роджерсу), и о выходе пресных вод в той же полосе в прибрежной морской области. Явление требует изучения.<sup>1</sup>

Не исключено замерзание грязевой морской воды в приполярных областях.

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

В общем, учитывая тропосферу и стратосферу, криосфера занимает оболочку в несколько десятков километров мощностью.

<sup>1</sup> Области холодных вод и связанный с этим низкий термический градиент (Верхнее озеро) — в общем не изучены.

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

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

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

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

Общая масса этой воды должна быть того же порядка, как масса водяных паров и воды океанов. Даже приблизительно нельзя учесть ее количество сколько-нибудь точно. Мы только знаем, что для горных пород верхних 20 километров земной коры масса химически чистой воды, в них заключенной, должна быть меньше массы воды океана.

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

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

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

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

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

Существование этих жидких водяных ионов, указанное Д. Д. Томсоном и Ланжевенем, было в последнее время выдвинуто в его значении Д. Ноланом. В этой пока еще мало разработанной области много неясного. Обычно принимают, что ионы воздуха состоят из заряженных

газовых атомов — азота и кислорода, — допуская их концентрацию около плавающих пылинок и около водяных частиц воздуха. Но роль водяных паров постепенно выясняется как основная. Для жидкой и парообразной воды атмосферы должно действовать вызванное частичными силами равновесие:

твердое → вода.  
тело ←

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

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

Повидимому, ионизация земной атмосферы в значительной степени меняется с образованием и распадением этих мельчайших водяных частиц, несущих заряды и газы. В кубическом сантиметре воздуха, среди сотен, тысяч ионов (§ 62), повидимому, по весу преобладают ионы, так или иначе с водой связанные.

Ионы находятся в стадии непрерывного образования и непрерывного распада; они теряют и захватывают заряды. Образовавшиеся комплексы водных молекул постоянно расходятся, теряя заряд. Одновременно создаются новые заряды и общее количество заряженных молекул воды остается, в среднем, постоянным, меняясь в связи с географическими и климатическими условиями, с характером и интенсивностью проникающих всю атмосферу излучений, — космических, идущих сверху, и радиоактивных, идущих снизу.

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

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

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

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

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

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

На то же указывает и увеличение ионизации с высотой.

Сейчас выяснен другой источник этого процесса — так называемые проникающие излучения, открытые Гоккелем и Гессом, идущие сверху, повидимому космические.

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

Количество ионов — не все из воды, но все могут сгущать капли воды — исчисляется иногда тысячами, в среднем достигает порядка 500 в 1 куб. см; они движутся в среднем со скоростью 1,5 см/сек. Они создают слабое электрическое поле земли и слабую электропроводность воздуха. Нормальное электрическое поле земли 200 вольт/м. Потенциал для 100 метров —  $5 - 3 \cdot 10^6$  вольт к земле.

В нем идут все явления атмосферы.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

65. Примером первого явления могут служить так называемые ледниковые периоды, увеличение или иная группировка снега и льда в биосфере среди поверхностных ее вод; примером второго — п е р е г р у п-

пировка суши и моря, отрицательные и положительные движения суши, трансгрессии и регрессии морей, связанные с несколькими земными геосферами, вплоть до базальтовой геосферы. Причины, вызывающие эти перегруппировки, могут служить примером и третьего типа периодических изменений, резко влияющих на историю воды, безразлично к ее фазам. Так при трансгрессиях моря, в связи с образованием геосинклиналей, резко меняется режим рек и их химическая работа. В ледниковые периоды за пределами наступающего ледника — или в столетия и тысячелетия после его рассасывания — образуются своеобразные, сейчас замирающие или несуществующие озерно-речные системы, придающие особый характер истории поверхностных вод суши.

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

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

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

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

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

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

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

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

67. Основываясь на орогенетических — горообразовательных — процессах, достаточно различить шесть или семь таких фаз, когда образование гор достигало максимума.<sup>1</sup>

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

В эти периоды повышались все те явления в истории воды, которые связаны с вулканическими процессами, выделениями минеральных термиструй горячей воды. Перед ними шли долгие годы — миллионы лет — усиленной трансгрессии морей и геосинклинальных осаджений. После них наступали периоды, связанные с накоплением льдов, приуроченные к более влажному и может быть холодному лету. Они отделяются десятками — сотнями тысяч, едва ли много больше, лет от ранее достигнутого максимума орогенетического процесса. В плиоцене, например, не позже, можно искать начала последнего ледникового покрова Евразии и Северной Америки, кончавшегося в историческое время. Он, с огромными дли-

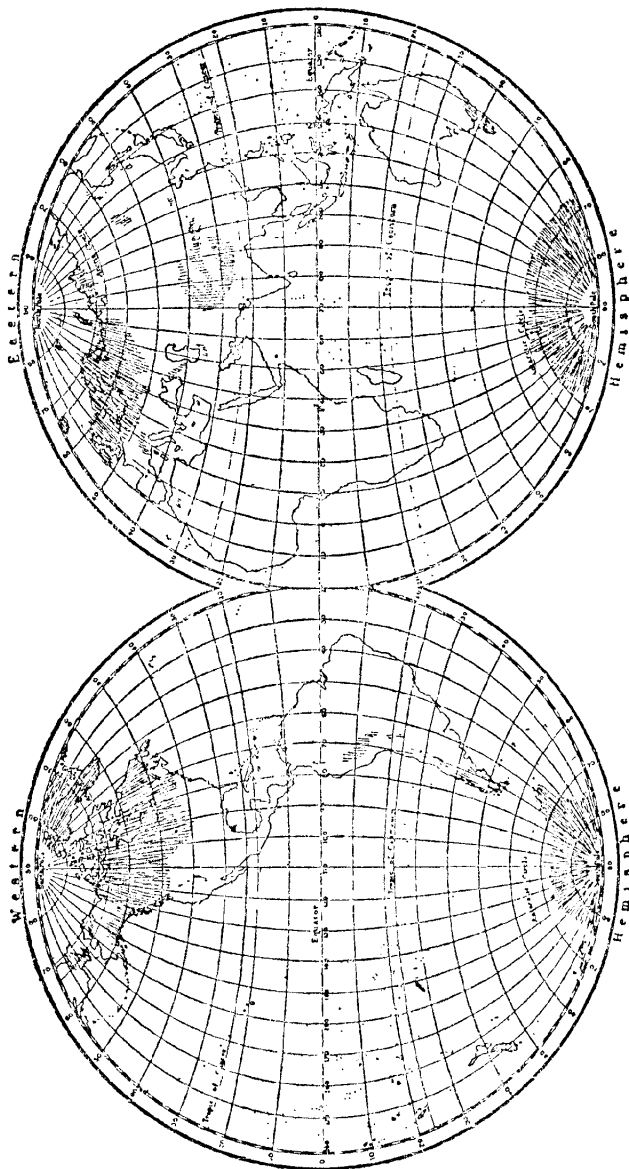


Рис. 1

тельными перерывами, начался уже более миллиона лет назад (рис. 1 и 2).<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Полезно иметь в виду, что в течение геологического времени количество полных оборотов нашей галаксии было равно 5 — 6 (А. Эддингтон, 1931).

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

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

Эти даты конечно очень суммарны, но общее явление, мне кажется, эмпирически установлено правильно. Надо при его учете избавиться от того исторического времени, в котором мы привыкли мыслить, и мыслить во времени геологическом. В масштабе миллиарда лет геологического времени сотня тысяч лет отвечает для исторического времени (порядка 10 000 лет) двум годам или даже четырем годам (в масштабе 20 000 лет). Что значит в истории человечества 2 или 4 года?

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

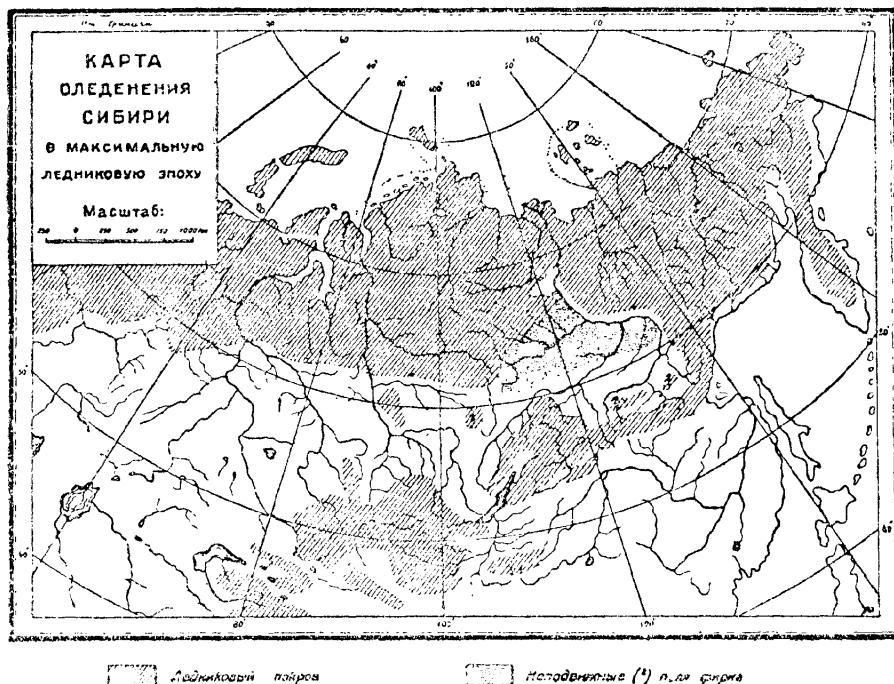


Рис. 2

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

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

В каком положении к этим большим возмущениям земной коры находится та картина истории природной воды, которую мы сейчас имеем возможность наблюдать?

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



69. Все указывает — и необходимо это учитывать, когда мы охватываем современную картину изучаемой нами истории природных вод, — что мы живем в периоде замирания ледниковой эпохи. Еще сохранились необычные повидимому льды Гренландии, Антарктики<sup>1</sup> и остатки „ископаемого“ льда на севере Сибири и окружающих островов. Окончательный отход последних масс льда в Южной Скании и на Датских островах произошел 13 500—14 000 лет назад; приблизительно в то же время совершился он в Северной Америке (освобождение из-под льда долины Massawa) 10 000—10 500 лет назад. По критической сводке Э. Антевса (1928) вероятный максимум развития и начало таяния последнего ледникового массива относится ко времени 40 000 лет назад ( $\pm 1/4$ ).

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

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

Еще дальше мы отошли от трансгрессии морей, геосинклиналей и связанного с ним своеобразного разрушения суши и режима рек. Ни трансгрессионных морей, ни геосинклиналей и сносящих в них разрушенный и растворенный материал рек нет в окружающей нас природе, нет в биосфере. В меловой эре — период порядка 70, вероятно больше, миллионов лет — замерли последние большие геосинклинали. Но все же высота современной суши вызывает денудацию больше средней. Сейчас денудация идет в 5—15 раз быстрее среднего (Баррель 1917). Это связано и с тем что эпейротические и внутренние моря в палеозое и в мезозое занимали большие пространства. А потому материал денудации больше проникает в Океан.

Эти картины замирания и погашения пароксизма исчезают, когда мы переходим к бытию биосферы в данный момент, к проникающему ее миру живых организмов. Здесь мы видим новый резкий скачок, небывалое по силе увеличение значения жизни в истории воды. На нашей планете, в биосфере, как раз в наше время появилась новая, раньше неизвестная, огромная геологическая сила в лице *Homo sapiens faber* — резко меняющая извечно установившиеся химико-физические равновесия. Его работа резко сказывается в истории природных вод, резко меняет из века установившиеся ее формы.

В эволюционном изменении жизни мы живем в период его яркого усиления — в начале психозойной эры Земли.

70. При такой картине смены и повторяемости характера водных оболочек в течение хода геологического времени чрезвычайно характерна устойчивость — геологически длительная — некоторых черт гидрохимических и гидрологических процессов на определенных участках нашей планеты. Мы увидим ниже, что современная картина распределения суши и океанов является чрезвычайно древней. Бассейн Тихого

---

<sup>1</sup> По О. Мейнхардусу (1928) в разгар постплистоценового ледникового периода площадь покрытой льдом Антарктики была в три раза больше современной.

океана в главной части существует, сколько можно судить, с самого начала палеозоя, а очень вероятно много раньше. Может быть океан находится на том же месте извечно в геологическом времени (§ 108). Этим определяются и основные черты современного механизма в истории природных вод.

Но постоянство идет и дальше. Современные льды Антарктики и северные приполярные находятся на том же месте по крайней мере с третичной эпохи. Так же длительны и географически неизменны современные пустыни с их своеобразным режимом вод — с третичного времени (А. Вегенер, Б. Личков).

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

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

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

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

Гораздо значительнее должны были быть различия в составе речных вод суши в эпохи тех форм эрозии, которые связаны с геосинклинальными ныне отсутствующими движениями земной коры. Но и здесь едва ли были большие отличия, ибо, как мы увидим, нет никаких сколько-нибудь серьезно обоснованных указаний на изменения в эти эпохи морской воды. Состав воды мирового океана вырисовывается нам сейчас, взятый в среднем, независимым от времени, неизменным в течение геологического времени. Приходится следовательно думать, что растянутые на длинные века геологического времени эти изменения состава вод суши не были настолько значительны, чтобы изменить в заметной степени состав воды мирового океана. Но надо все время помнить, что точность этого нашего заключения только такова, что мы можем заметить лишь большие изменения состава морской воды. Критика наших данных, которой я коснусь дальше во второй части книги, показывает, что все довольно распространённые указания на резкие изменения этого состава не являются эмпирическим обобщением, а представляют гипотезы, не охватывающие всю совокупность фактов.

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

Иные, нам неизвестные формы воды существовали повидимому и в тех пустынных или полупустынных областях, где в триасовую или пермскую эпоху отлагались медные или свинцовые руды, связанные с замиранием водных мелких бассейнов. Но здесь, может быть, различия были не так

велики, как они представляются на первый взгляд. Все же, едва ли может возбуждать сомнение, что они были.

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

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

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

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

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

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

Культурных вод никогда раньше не было в биосфере, и очевидно никогда они вновь не повторятся, так как они связаны в своем существовании с неповторяющимся в ходе времени единичным явлением, с *Homo sapiens faber* — звеном в эволюционном процессе изменения живых природных тел.

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

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

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

## 6. Диссимметрия в положении природных вод в земной коре

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Скопления льда и снега повторяются у южного и северного полюса; области тундр и болот, лесов холодных и умеренных широт, степей и пустынь, подтропических богатых водными осадками областей могут быть отмечены по обе стороны от экватора, в обоих полушариях, в одинаковой последовательности (§ 99).

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

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

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

---

<sup>1</sup> Северный полюс холода находится где-то в Гренландии в ее внутренних ледяных пустынях (65—70° с. ш.). Южный — в Антарктике. Повидимому они не лежат на одной линии,

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

В 1798 году Кларэ де Флерье (C. Claret de Fleurieu, 1738 – 1810) впервые указал на то, что суша сосредоточена в северо-восточном полушарии, а океаны в юго-западном, и что такая диссимметрия лика земли

---

проходящей через центр планеты. Сибирский полюс холода — около Верхоянска ( $67^{\circ}$  с. ш.) — существует только два месяца (декабрь — январь) и очевидно не может считаться планетным полюсом холода.

является ее важной и характерной чертой. Ему же принадлежит идея гидросферы — единого всемирного океана.

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

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

Сейчас эта задача решена точно. По Берже (1916) материковое полушарие будет заключать 53,3% океана и 46,5% суши, а океаническое — 89,5% океана и 10,5% суши.<sup>1</sup>

Один из полюсов такого распределения полушарий будет находиться у берегов Франции, на о. Дюмэ недалеко от устьев Луары; другой — в океане, южнее Новой Зеландии; по А. Берже (1916) положение северного полюса определяется: 47° 24' 42" с. ш. и 2° 37' 13" на В (от Гринвича) в. д. (рис. 3).<sup>2</sup>

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

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

Резко несимметричное распределение суши и моря станет еще более ясным, если принять во внимание распространение глубин. Можно видеть, что наибольшие глубины сосредоточены в водяном полушарии. Средняя глубина океана в этом полушарии по Э. Коссинна (1921) равна 4 070 метров, а в континентальном полушарии — 3 320 метров. Учитывая среднюю высоту континентов, в континентальном полушарии (750 м) и в водяном полушарии (1 200 м), Коссинна получает для среднего уровня литосферы („уровня коры“ — „Krustenniveau“) в водяном полушарии — 3 460 м, а в континентальном — 1 420 метров. Больше чем на два километра он в среднем лежит глубже в водяном полушарии, чем в континентальном.

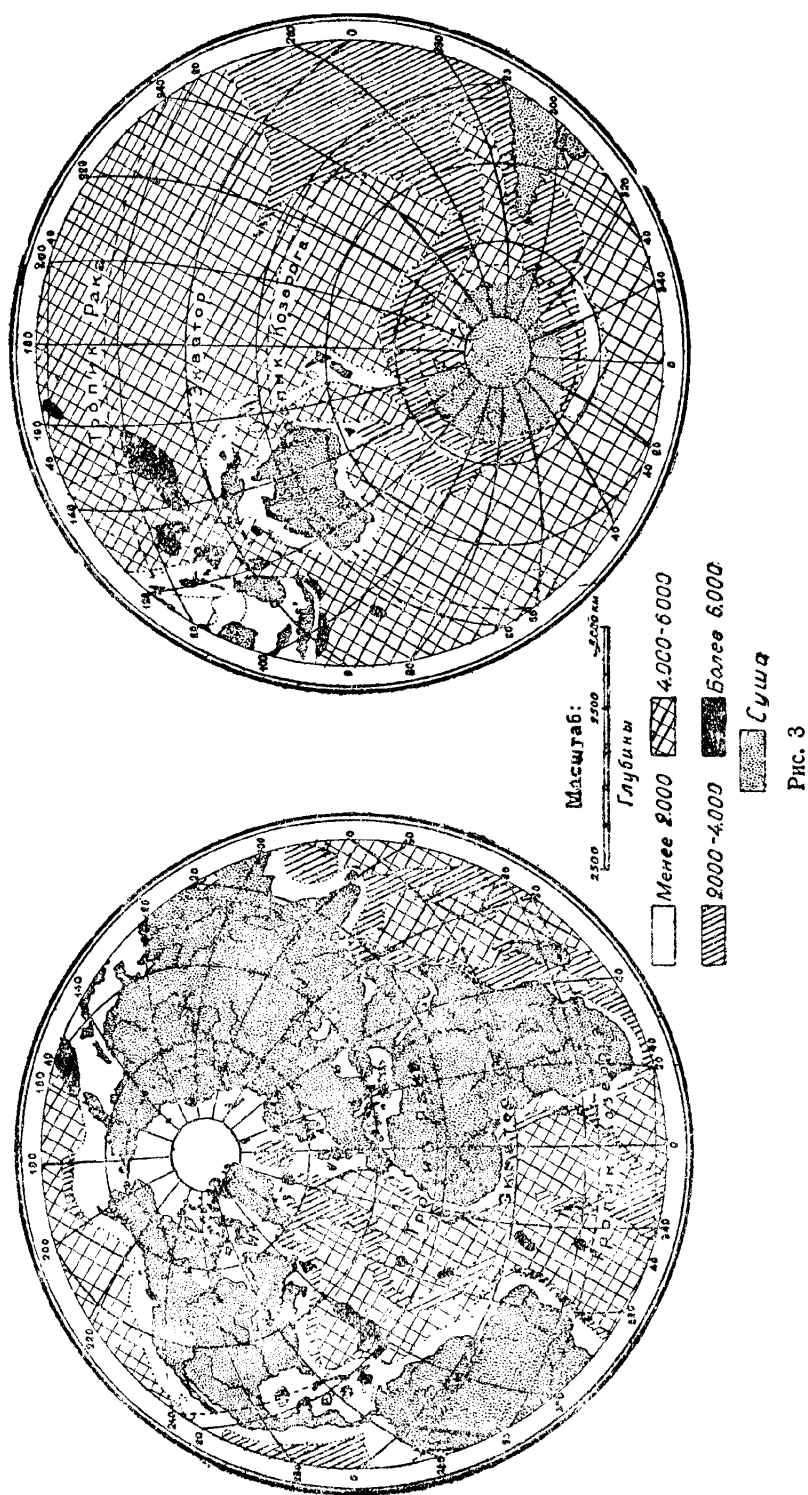
80. Граница между сушей и океаном несомненно меняется и очень сильно меняется в геологическое время. Как мы знаем, континенты окружены мелководной областью — континентальной платформой, шельфом, связанным с континентами своей геологической историей. Если прибавить всю площадь континентальной платформы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

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

Точно так же только логически формальное примерное значение может иметь и другое представление о минимальном разгитии суши. Из соображений, которые можно научно защитить, но которые не являются в большей своей части научно обязательными, не являются научными фактами или научными эмпирическими обобщениями, А. Пенк вывел, что во все геологические периоды по крайней мере одна треть площади континентов оставалась неизменно сушей, две трети мелководными морями (300—800 м глубиной, в среднем 500 м). Отвечающая им вода составляла — в пре-

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

<sup>2</sup> На карту нанесены глубины. Они сосредоточены в водяном полушарии.



деле —  $\frac{1}{8}$  (т. е. 12,5%) воды океана. 77,5% воды должны были всегда находиться в океаническом вместилище.

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

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

81. Но значение этих цифр не должно преувеличивать. Они указывают лишь на примерную степень колебания море/суша в геологическом времени, всегда однако с неизменным преобладанием площади гидросферы. Наиболее решительные сторонники подвижности современной картины лика земли в смысле распределения суши и моря допускают, что около половины всей земной коры связано в своей структуре с континентами.<sup>1</sup> Это значит, что в течение геологического времени половина земной коры непрерывно проходила через стадию континентов. Так как ясно, что никогда для всех участков коры максимальное развитие океанов не могло быть явлением одновременным, то отсюда следует, что преобладание площади океанов над площадью суши должно было существовать неизменно в течение всего геологического времени.<sup>2</sup>

Очень возможно, что отношение море/суша, т. е. число 2,43,<sup>3</sup> не является случайным. Его точное определение представляет сейчас большой интерес.<sup>4</sup>

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

Эти черты следующие:

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

2. Масса эта распределена в биосфере так, что выделяется два

<sup>1</sup> Л. Кобер (1928) считает, что по своей геологической истории только приблизительно половина всей земной коры связана в своей структуре с континентами. Его выводы проинкнуты экстраполяциями и гипотезами, еще недоказанными (ср. § 108).

<sup>2</sup> Едва ли можно считать сейчас в текущей научной работе с представлением о таком геологическом прошлом нашей планеты, когда вся ее поверхность была покрыта водой, — „панталассой“ Э. Зюсса. Эта идея была высказана им, как возможный результат тектонических движений, при чрезвычайно упрощенном — одностороннем — представлении о строении земной коры. Зюсс принимал эти движения, как определяющие все остальные явления в биосфере. Еще дальше в прошлое отошли идеи Э. Канта о возможном полном усыхании и уравнивании поверхности планеты. Оставая в стороне то, что Кант не мог иметь понятия о мощности гидросферы (§ 82), нельзя не отметить все же, что Кант здесь шел тем же логическим путем, которым через почти сто лет позже пошел Зюсс. Он выдвинул одно из многих явлений земной коры — денудацию — и экстраполировал ее следствия. И тектонические движения и денудация идут однако одновременно и в противоположных направлениях.

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

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



полушария — одно с резким преобладанием воды и другое, в котором отношение между водой и сушей близко к 1,12:1,15. Вода преобладает.

3. В среднем эта масса собралась в одномместилище на земной поверхности, которое обладает мощностью в среднем в 3,8 километра,

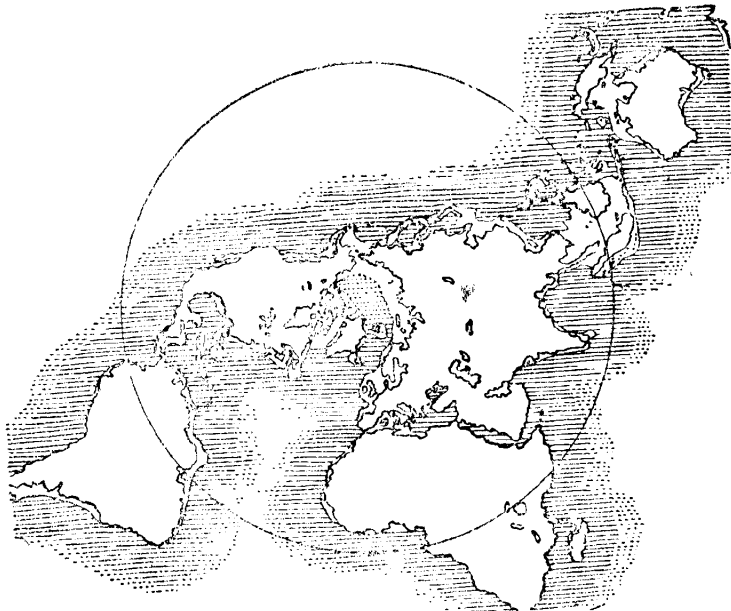


Рис. 4

при чем средний уровень дна этогоместилища лежит на 2 километра ниже в водном полушарии по сравнению с полушарием, богатым сушею.

4. Сама суша распределена так, что подавляющая ее масса (все континенты) представляет как бы единое целое. Приведенная карта (рис. 4) дает об этом представление.<sup>1</sup> Возможность объединения подавляющей части суши в одно полушарие ясно подчеркивает такой характер суши. Основываясь на вычислениях И. де Виндта. (J. de Windt, 1898), можно утверждать, что расстояние между континентами нигде не превышает 500 километров, учитывая лежащие между ними острова и мели; область глубин (больше 1000 метров) прерывает континентальные массы в немногих местах и очень узка.<sup>2</sup>

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

Причина этого явления нам непонятна и загадочна.

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

Основываясь на идеях Г. Дарвина и их обработке в новейшей космогонии, Р. Швиннер (1928) придал этим представлениям форму, допускающую научную проверку, и перенес их в геологическое время, связав с периодами больших периодически повторяющихся геологических возмущений (§ 66). Он связал образование основной впадины — Тихого океана — с отделением Луны от Земли, первого основного факта в истории нашей

<sup>1</sup> Взято у Осборна (1928).

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

планеты (Луна — единичное явление в планетной системе Солнца), происшедшего в лаврентьевскую эпоху, т. е. более миллиарда лет тому назад. Отделение Луны могло произойти в связи с явлениями приливов и отливов, благодаря особому распределению масс в нашей планете до этого разделения и характеру собственных колебаний нашей планеты. Разделение произошло при совпадении явлений резонанса между волнами приливов и отливов и собственными дрожаниями планеты: получился единичный огромный толчок приливных волн и земных масс.

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

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

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

84. Выделение Луны из Земли дает чрезвычайно простое объяснение характеру диссимметрии, указанному в § 78; этим объясняется скопление всей массы воды в одной впадине (рис. 1 и 4), — эта впадина (гл. обр. Тихий океан) отвечает месту, откуда ушло в небесное пространство вещество Земли при образовании „двойной звезды“ Земля-Луна; этим объясняется преобладание воды Океана над сушей, так как часть поверхности суши потеряна;<sup>1</sup> этим объясняется и единое тело суши (§ 82). Идея о генезисе Тихого океана в связи с генезисом нашего Месяца была впервые давно высказана У. Г. Пиккерингом (1907—1924), но только в последнее время обратила на себя серьезное внимание.

Начало лаврентьевской эры, если точная проверка подтвердит вывод Швиннера, было началом диссимметрии в истории воды; оно же было началом образования биосферы и влияния жизни на процессы природных вод (Вернадский, 1930). С этого времени образовались виды современных поверхностных вод. Воды пластовые появились позже (§ 529).

Важно, что тут возможна количественно точная проверка, которая в конце концов выяснит, можно ли допустить это объяснение (§ 83).<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup> Объем, занятый океанами, недостаточен по сравнению с объемом Луны, — т. е. должна была удалиться большая масса. Конечно это не противоречит полученному в результате эффекту — океанической впадине. Объем Луны около  $510^9$  км<sup>3</sup>, объем Океана  $1,3 \times 10^9$  км<sup>3</sup>. Очевидно удален верхний слой с большей поверхности земли, так что явление допустимо.

<sup>2</sup> Есть ряд других явлений, которые прекрасно укладываются в рамки этой гипотезы. Так сперва Л. Бауэр (1923), а недавно О. Ли (O. Lee 1930) указали, что диссимметрия проявляется в магнитном поле Земли, определяет положение магнитных полюсов на поверхности планеты; это положение связано с Тихоокеанской впадиной; строение магнитного поля земли как бы сохраняет отпечаток былой катастрофы, основного события в истории нашей планеты. Как тоже недавно указал Г. Тернер (1930), все землетрясения, глубина причин которых превышает 200 километров, сосредоточены в области Тихого океана. Там змает, но еще отражается процесс, происшедший миллиард — полтора миллиарда лет тому назад; он проявляется более глубоко, чем самые мощные орогенетические процессы, которые мы изучаем в строении земных слоев.

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

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

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

Они приводят к явлениям космического порядка, должны отражаться на вращении планеты вокруг своей оси, вызывать трение между планетой и массой воды, удлинять сутки. Это удлинение земного вращения не может проходить бесследно для движения луны вокруг земли, должно изменять ее орбиту. Повидимому это одна из причин векового возмущения движения Луны, открытого современником Ньютона, Э Галлеем. Если бы процесс трения водных масс происходил непрерывно с одинаковой с нынешней интенсивностью, то в древнем или в среднем палеозое — 550 миллионов лет назад — сутки были бы на 48 минут или около этого длиннее, чем ныне,<sup>1</sup> явление измеримое, но геологическое его значение очевидно невелико.

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

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

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

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

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

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

Изучение распределения гравитационных постоянных на океанах и на суше подтвердило то учение об изостазисе, которое было высказано в 1855 году Праттом<sup>2</sup> и Эри в связи с наблюдениями гравитационных явлений в горных хребтах.

Разнородные, по удельному весу, горные породы в земной коре, так же, как и разные по толщине их массы (горы и горные цепи) распределены так, что в среднем получают — в вертикальном разрезе — одинаковые гравитационные величины для всех мест земной поверхности. Необходимо допустить, исходя из этих наблюдений, влияние этой неоднородности земной коры до глубины около 60 километров — до уровня изостазиса. Под океанами, значительно ближе к их дну, чем это имеет место к такому же уровню (от центра земли) для суши, должны

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

<sup>2</sup> Эри подошел к современным представлениям ближе, чем Пратт. Он основывался на наблюдениях Пратта. Поправка к I, § 18, стр. 26.

лежать тяжелые массивные породы и магмы. Здесь должны собираться породы и магмы удельного веса, близкого к 3—3,3—базальтовые, перидотитовые или эклогитовые породы.

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

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

Схема явления может быть выражена в следующем виде (рис. 5). Здесь приняты во внимание и другие явления, о которых говорится ниже.

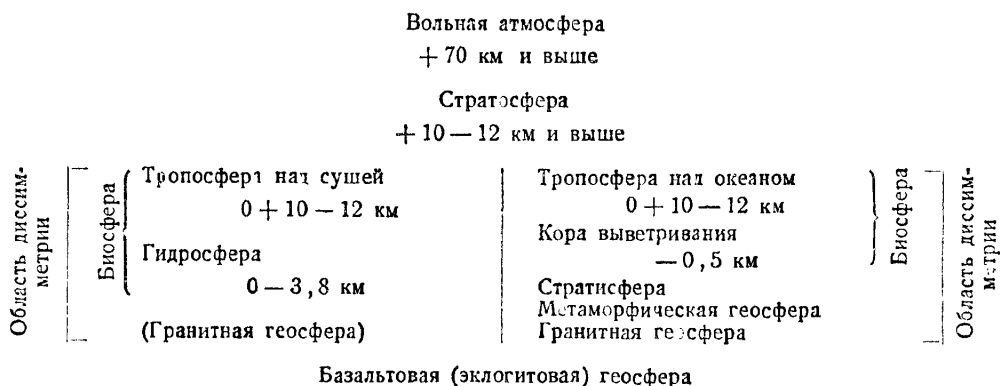


Рис. 5. Диссимметрия земной коры

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

Изучение Вашингтоном и Клерком среднего химического состава изверженных — массивных — пород океанических островов Тихого океана, в первую голову, и сравнение этого состава с средним составом таких же пород материков (например „огненного кольца“ вулканов Тихого океана) явно указало на особый более основной характер островных пород. Магма, доступная в этих местах нашему наблюдению, на современном уровне земной поверхности отвечает как раз тяжелым, более бедным кремнием и калием и более богатым железом и магнием, основным породам, чем та магма, которая на том же уровне доступна наблюдению на материках. На всем протяжении Тихого океана на его островах вулканы дают особые базальты—океаниты—с 1-2% щелочных лав—трахитов и т. п. (Г. Вашингтон, 1929). Нигде не наблюдается здесь ни кислых массивных гранитного типа пород, ни кристаллических сланцев и гнейсов (А. Лакруа, 1927).

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

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

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

Давление, которое непрерывно увеличивается в планете по мере приближения к ее центру и которое является единственным характерным ее

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

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

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

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

Настоящего объяснения холодному состоянию океанических глубин мы не имеем. Часто принимают во внимание — как одно из возможных — объяснение Цеппригга: вековым путем установившееся скопление наиболее удельно тяжелой воды, т. е. воды максимально холодной, на дне. В конце концов, по этому представлению, это вода, пришедшая с земной поверхности, с холодных частей океана, близких к полюсам холода. Можно однако принять во внимание другую возможность: резко отличное радиоактивное нагревание массы моря и суши: океан включает по весу значительно меньше распающихся и нагревающих его атомов, чем суша — в сотни раз меньше калия, во многие тысячи (если не десятки тысяч) раз меньше радия и т. д. Температура его должна быть низкая, особенно если древность его очень велика. Я вернусь к этому явлению во второй части книги.

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

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

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

С тем же правом можно высказать предположение о том, что холодное поле, выражением которого являются морские пучины, заходит ниже за его дно. Так как и здесь мы имеем явление, сложившееся в геологическое

время, охлаждение твердых масс под дном океана на десятки градусов по сравнению с температурой суши того же уровня от центра может проинкитать на километры—и больше?—от уровня морского дна.

В то же время и вызываемое радиоактивностью основных пород морского дна нагревание должно итти более медленным темпом, чем нагревание суши—ее кислых пород—на том же уровне от земной поверхности.

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

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

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

Большее приближение к океаническому дну основных массивных пород не оставляет места не только осадочным и метаморфическим породам, но и тем породам, которые характеризуют состав тех верхних 16—20 километров земной коры, которые, следуя Ф. Клерку, всюду нами принимаются во внимание.

Под большие глубины океана подходит базальтическая оболочка (ср. I § 30), которая от поверхности суши отделена рядом геосфер.

Эти геосферы не должны быть выражены под океаном так, как они выражены под сушей.

Под дном океана—его глубоких частей—должна отсутствовать стратисфера (осадочные породы) и происшедшие из нее породы метаморфические; гранитные породы и ортогнейсы должны сходить на нет или же быть мало развиты.

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

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

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

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

92. Под океаническими бассейнами пластовые воды могут встречаться только в их участках, связанных с континентами, в приконтинентальных морях, например, в таких морях, как Северный ледовитый „океан“ (§ 73).

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

В этих областях возможны и пластовые воды и минеральные источники.

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

В обмене вещества суши и океана создание осадочных пород играет большую роль, так как в грязевой воде исходных для них водных осадков возвращается из океана на сушу значительная часть солей океаниче-

ской воды. Раз осадочные породы образуются только из морских (§ 108), а не океанических осадков, — до суши не доходят химические элементы, проникающие в глубоководные части океанов снизу, кроме тех из них, которые растворены в океанической воде.

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

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

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

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

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

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

В связи с этим гранитные кислые породы выделяют (учитывая и калий) в год в среднем  $15,9 \times 10^{-6}$  кал., а базальтовые  $3,9 \times 10^{-6}$  кал. (Holmes и Lawson)<sup>1</sup> из грамм.

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

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

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

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

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

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

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

Что диссимметрия проявляется выше гидросферы, в атмосфере — видно, напр., из истории водяных ионов, — их в несколько раз меньше над океаном,

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

чем над сушей, так как источник их образования, радиоактивные вещества, в тысячи, вернее в десятки тысяч, раз менее распространены в веществе океана, чем в веществе поверхности суши. Пыль, их несущая, стоит над сушей, а не над океаном.

95. Еще резче диссимметрия по сравнению с поверхностными водами. Морская, океаническая вода имеет химический состав, не повторяемый в водах суши. Живое население воды океана и вод суши совершенно иное. Продукты химии моря и химии суши, всегда связанные с жизнью, резко иные: углерод живого вещества выделяется в морском круговороте главным образом в виде карбонатов кальция—известняков; в воде, связанной с сушей, идет его выделение в виде углеводов (нефти) или углей и битумов и т. п.<sup>1</sup>

В водяном земном полушарии собрана в одном месте в виде единой массы соленая вода чрезвычайно своеобразного состава с весовым преобладанием в убывающем порядке: Na, Cl (скачок) Mg, S (ион  $\text{SO}_4^{''}$ ), Ca, K, Br, C, N (скачок), Si... концентрации 3,2—37%. Если бы эту массу воды распространить на всю поверхность планеты, — она бы образовала сплошной слой примерно в 2700 метров мощностью.

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

Распределение химических элементов здесь иное, чем в океане.

Для пресных вод земной поверхности:

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

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

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

Никакого резкого скачка в количестве отдельных элементов нет. Минимальные количества ионных компонентов для озер  $60 \times 10^{-5}\%$ , для рек  $6,2 \times 10^{-4}\%$ , для верховодки (родниковых) вод— $1,2 \times 10^{-3}\%$ .

Книзу в пластовых водах стратисферы, непосредственно теснейшим образом связанных с водами пресными, можно заметить чрезвычайно своеобразные изменения. Здесь я отмечу лишь, что одно время резко увеличивается углерод ( $\text{CO}_2$  и ион  $\text{CO}_3^{''}$ ), затем с глубиной, повидимому сперва уменьшаясь, исчезает ион  $\text{SO}_4$  и увеличивается  $\text{H}_2\text{S}$  и ион  $\text{HS}'$ . Кальций начинает преобладать над Na, и в то же время из катионов—кроме HS и отчасти  $\text{HCO}_3'$ —преобладает Cl. Наконец начинает выступать на видное место  $\text{NH}_3$  и ион  $\text{NH}_4^+$ .

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

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

<sup>1</sup> Для нефтей возможно происхождение в прибрежных соленых водах морских осадках



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

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

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

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

В то же время испарение соленых вод, следовательно океана, значительно меньше испарения пресных, т. е. значительной части наземных вод суши (ср. § 124).

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

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

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

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

98 Эта свободная энергия проявляется не только на поверхности.

Под океаном явления идут резко иначе, чем под сушей.

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

В конце концов и континенты и базальтическая оболочка под океанами переходят в основную стекловатую магму, может быть, неодинаковую по составу, так как граница изостазиса идет много глубже 10—20 километров, в которые укладываются все наши представления о геосферах.

Едва ли правильны представления, сейчас нередко высказываемые, что континентальные массы „плавают“ в расплавленной базальтовой оболочке. Для гранитной оболочки под сушей принимают максимум 13—15 километров, — едва ли на этой глубине гранит или базальт будут представлять расплавленную полужидкую, сильно вязкую магму. О жидкой магме не может быть и речи (ср. § 297 сл.).

Во всяком случае низы континентальных масс механически и термически неоднородны с окружающей их базальтовой нагретой магмой, и допустимые их сдвиги по отношению друг к другу (рис. 5) вероятно не очень значительны в геологическое время.

99. В связи с таким строением континентов и океанов возникают в XIX—XX веках совершенно новые представления о географической картине со-

временной земной поверхности. Согласно одному представлению, земная поверхность отражает различия в строении охватывающих всю или главную часть континентов земных масс, медленнодвигающихся через океаны в полувязком веществе базальтической оболочки (теория А. Вегенера). Причина движения не только не ясна, но и не формулирована.

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

Наконец, третье решение, впервые высказанное в 1846 году американским минералогом и геологом Д. Д. Дэна, считает, что в основных чертах океаны и континенты находятся неизменно на месте; континенты окружены широкой полосой, которая благодаря разнообразным движениям земной коры становится то морями, то сушей. Возможная причина этого эмпирически выведенного обобщения тогда не могла возникнуть, и лишь теперь для нее в распределении радиоактивных элементов и в связи с идеями о генезисе Луны получаются некоторые наведения. Из распределения радиоактивных элементов следует тесная зависимость дислокаций с пограничными областями континентов и, как ее следствие, большая устойчивость центральных частей суши.<sup>1</sup> Из теории происхождения Луны вытекает обобщение Дэна во всей его полноте.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

102. Мы встречаемся в дальнейшем углублении в эти явления с категорией фактов, в которых не установилась еще научная мысль. Противоположные научные представления здесь существуют одновременно. Мне кажется, это в значительной мере является следствием того, что до сих пор не вошло в общее сознание геологов эмпирическое обобщение, что распределение океанов и суши является не палеогеографическим явлением, а связано с определенной структурой земной коры, идущей далеко в глубь, на многие километры, лежащей глубже большинства тектонических смещений. Современное распределение суши и океана связано с нижними пределами гранитной оболочки (т. е. может быть порядка 10 — 15 километров и глубже). Ясно, что при таком понимании значительно понижается, по сравнению с современной оценкой, ценность зоологических и ботанических доказательств этих смещений, и увеличивается ценность геологических и геофизических.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Геологи, а также и сам Дэна, указывали, что среди осадочных пород стратисферы нет пород глубинного происхождения. Это стало возможным утверждать после экспедиции Чалленджера (§ 436). Дальнейшие экспедиции (в частности А. Агассица) привели к более точному утверждению этого положения.

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

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

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

Но даже если бы все эти указания были верны, — они одни не могут изменить общую картину явления. Эти породы занимают ничтожную часть строения суши и в лучшем случае могут указывать на то, что существуют какие-то явления, не принятые во внимание.<sup>1</sup>

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

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

Повидимому будет уточнено и войдет в сознание натуралистов или отсутствие в стратисфере остатков глубинных пород или их редкость — в предельном случае их связь с геосинклиналями (А. Кобер).

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

109. Необходимо поставить на более точную почву и оценку правильности теорий чисто геологических, противоположных теории Дэна.

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

В XIX столетии можно было пытаться решать проблему распределения суши и океана исключительно геологическим путем.

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

В нашем столетии выдвинулись новые явления, помимо чисто геологических и биологических, с которыми вынуждены считаться геологи в решении этих явлений. С одной стороны, данные геофизики, получившие такое значение в теории Вегенера, с другой — явления радиоактивности, приведшие к теории Джоли.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Все эти общие положения требуют такой устойчивости географической карты, которая не принимается во внимание теориями Зюсса, Кобера, поскольку дело идет о соотношении моря и суши.<sup>1</sup>

---

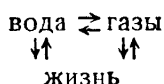
<sup>1</sup> Нельзя не отметить еще одного вывода из постоянства океанических впадин—это устойчивость того трения, какое вносится во вращение земли приливами и отливами. Как известно, трение, говоря с общей точки зрения, больше в мелких больших бассейнах, чем в глубоких областях океана. Сейчас наибольшее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



## II. Природная вода и живое вещество

### 1. Вода и жизнь

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



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

Как в последнее время развил А. Гендерсон (1913—1917), вода среди всех соединений химии — природных и искусственных — стоит резко отдельно по всем тем ее свойствам, которые являются необходимыми для жизни. Ни одно соединение не приближается к ней в этом отношении заметным образом даже в величине и в характере какого-нибудь отдельного своего свойства, не говоря уже об их одновременном сосуществовании. Природная вода как бы предназначена для жизни, и с жизнью связана она одна из всех химических соединений.

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

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

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

Мы можем сейчас, повидимому лишь ставя проблему о начале жизни, говорить о начале всей биосферы (§ 84) — целиком. Дальше пока идти не можем.

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

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

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

Повидимому это — одна из основных черт организованности биосферы.

## 2. Вода в организмах

114. Все организмы—и водные и наземные—представляют полужидкие, иногда жидкие водные коллоидальные системы с резким преобладанием химически свободной или полусвободной жидкой воды. Совершенно правильно с этой точки зрения определяет их (и человека) французский зоолог Р. Дюбуа как „оживленную“ или „одухотворенную воду“ — „L'eau animée“.

Но в их строении по отношению к воде есть глубокие различия. Все они требуют для жизни больших количеств воды. Для водных организмов — ее нахождение обеспечено. Среди наземных организмов, геохимически наиболее важной части живого вещества, среди зеленых растений — одни выработали совершенно определенную систему приспособлений, обеспечивающих им приток и сохранение воды в сухой среде, во время колебаний влаги в окружающем воздухе и в почве. Другие приобретают способность латентной жизни при недостатке воды.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Нигде на земной поверхности нет „абсолютно“ сухих тел, т. е. тел, не содержащих физически связанной воды, — ни в биосфере, ни в живом веществе.

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

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

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

Жидкая вода организмов образует золи и гели, коллоидальные растворы, частью — электролитические растворы. Химический солевой состав этих растворов очень определенный, резко иной для разных организмов. По принятой нами классификации эта вода будет соленой водой (§ 213), состав которой повидимо у широко меняется для разных организмов. К сожалению, состав воды организмов, как состав самих организмов, плохо изучен.

Вода в некоторых организмах образует скопления, не связанные ни с плазмой, ни с водными соками растений или с жидкостями полостей животных. Таково выделение воды многих растений влажных тропических лесов. Это воды часто пресные, так как они бедны не только солями, но и органическими веществами (§ 665 сл.).

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

Состав воды многих (высших) сухопутных животных организмов напоминает состав морской воды, что вызвало ряд гипотез, очень распространенных одно время среди биологов (Ч. Дарвина, Г. Бунге и др.),

о том, что состав этот отвечает составу того древнего океана, в котором жили будто бы предки этих сухопутных организмов.

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

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

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

Вопрос действительно требует точного изучения.<sup>1</sup>

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

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

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

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

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

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

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

Процессы идут различно в гидросфере и на суше (§ 129). Ярko проявляется диссимметрия земной коры.

### 3. Роль организмов гидросферы в истории воды

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

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

<sup>1</sup> Приводятся большей частью старинные и неполные анализы миксомицетов, (напр. Рейнке и Родевальда), как анализ протоплазмы. Это очевидно неверно, так как эти организмы богаты выделениями  $\text{CaCO}_3$ , в протоплазму не входящими. Анализа амёб, например, нет. Это объект уже более чистый. Нет и полного анализа клеток (например, таких, как белые кровяные шарики).

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

Механизм этого влияния совершенно иной для жизни в океане и для жизни на суше в этом проявляется основная черта земной коры — диссимметрия ее строения (§ 73 сл.).

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

В истории воды на первом месте не стоит океаническая жизнь.

120. Жизнь моря очень мало отражается на испарении его водяных паров: она меняет газовый режим морской воды и вносит большие изменения в ее внутреннюю структуру. Она очевидно должна влиять и глубже, например, в создании кислорода из молекул воды (§ 313 сл.), но это явление в данной обстановке не изучено.<sup>1</sup> На равновесие: океан ↔ пары тропосферы морская жизнь влияет слабо.

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

Существует своеобразный механизм: главная масса паров тропосферы получается из гидросферы (при чем участие жизни в их вхождении в атмосферу ничтожное), но распределение их на суше в серьезной степени регулируется жизнью (§ 136 сл.).

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

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

В ней находится количество воды порядка  $10^{19}$  грамм, а вода живых организмов, всегда теснейшим образом связанных с тропосферой, — порядка  $10^{18}$  —  $10^{19}$  грамм, может быть больше.<sup>2</sup>

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

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

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

Испарение морской воды не отвечает испарению пресной, а тем более химически чистой воды. Испарение меняется от физико-химических свойств воды, и это изменение далеко не изучено в достаточной степени. В зави-

<sup>1</sup> Нельзя забывать, что кислород создается зелеными организмами не только разложением молекул  $\text{CO}_2$ , но и  $\text{H}_2\text{O}$ .

<sup>2</sup> Это число отвечает химически чистой воде — растворителю раствора, который находится в организмах.

симости от концентрации, испарение и прежде всего скорость его должны меняться. Неясно однако, какие физические свойства воды при этом являются первой причиной изменения. Вязкость?

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

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

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

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

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

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

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

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

Основным процессом является водный круговорот: морская вода  $\rightleftharpoons$  морские организмы (§ 125).

Организмы проникают весь океан, сосредоточиваясь в нем в определенных поясах, образуя живые пленки и сгущения. Но вероятно главная масса „оживленной воды“ находится в тех мельчайших центрах жизни, какими являются бактерии и которые проникают всю толщу океана. Если их количество в океане аналогично их количеству в реках, массы воды, заключенные в морских бактериях, будут сравнимы вообще с весом воды живого вещества.<sup>1</sup> К сожалению, процент воды в морских бактериях неизвестен.

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

Этот ток происходит частью биомеханически: организм вызывает движение в толще воды и проводит ее через свое тело; частью он связан

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

с диффузией в разных формах. Организм проводит в свое тело и выводит воду из своего тела.

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

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

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

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

Эффект ее сказывается на всей химии океана, ее определяет. Он выражается в бесчисленных химических процессах, нередко имеющих характер равновесий, и в более устойчивых, выходящих из равновесий телах — их твердых продуктах, вадозных минералах, часто богатых водою (гидратах — см. § 306 сл.), которые образуются в результате этого влияния жизни. Эти образования совершенно иные, чем те, которые образовались бы — и которые образуются — из морской воды при безжизненных в ней идущих процессах. Так вместо галоидных и сульфатных солей, выпадающих из растворов одного состава с морской водой, идет образование карбонатов (главным образом кальция), опалов, гидратов, окиси железа и т. п.

Этот жизненный ток определяет и состав морской воды, т. е. ту часть элементов, которая не захватывается на построение организмов и не собирается в виде органогенных минералов. Состав морской воды в конце концов определяется биогеохимическими процессами. Исходным для него раствором является пресная вода рек, резко определяемая в свою очередь в своем составе биогеохимическими явлениями суши (§ 602 сл.).

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

Этот газовый режим живого вещества так мощен, что влияет на режим газов, растворенных в океане, и этим путем могущественно меняет все его свойства.

126. По отношению к воде чрезвычайно характерно, что в общем деятельность организмов в гидросфере приводит к ее химическому связыванию, к выводу значительных масс воды из жидкого состояния.

Под влиянием жизни ненасыщенный при условиях биосферы соляной водный раствор океана непрерывно выделяет разнообразные твердые фазы веществ, такие, которые или содержат химически связанную воду или же образуют новые тела ее разложением.

Если бы океан был безжизнен, он в условиях температуры, давления и безжизненной газовой атмосферы того же состава, как тропосфера, находился бы в химическом равновесии — не выделял бы никаких твердых или жидких веществ, и газовый режим его был бы прост и маломощен.

Совершенно иное явление представляет из себя океан — его вода — под влиянием геохимической энергии жизни.

В нем непрерывно идет выделение твердых и жидких химических соединений: равновесие ненасыщенного соляного раствора постоянно нарушается.

В океанах этим биохимическим путем идет выделение из раствора и концентрация молекул в двух направлениях.

Прежде всего создаются тела морских организмов — процесс недостижимой быстроты для наших синтезов.

Их молекулы находятся в вечном перемещении, так как при гибели организмов они возвращаются назад в воду, проходя через другие организмы.

Другой ток молекул, выходящих из состава морской воды биогенным путем, связан гидратацией вадозных минералов — карбонатов, фосфатов, гидратов, углеводородоазотистых соединений и т. п.

Среди этих тел необходимо сейчас же отметить гидраты, так как этим путем в лабильной форме уходят из океана огромные массы воды — часть мощного планетного процесса биосферы.

Он идет двояким путем: часть гидратов отлагается при жизни разнообразных организмов в их телах, в их скелетных частях (например, опалы), часть же связана с жизнедеятельностью бактерий и выделяется ими как экскрет (например, гидраты окисей железа и марганца).

О значении этого процесса можно судить по тому, что древние отложения так образованных вадозных минералов являются для железа и для кремнезема наибольшими по массе известными нам их концентрациями в земной коре.

127. Неменьшие количества гидратов создаются непрерывно в океане биохимическими реакциями иным путем.

Проникнутый жизнью соленый раствор — морская вода — отличается от безжизненного раствора того же состава тем, что этот раствор энергично и глубоко меняет окружающее водное океаническое вместилище, его твердую и жидкую среду.

На дне и на боках (берегах) океана поселяется жизнь, и создаются морская грязь и биоценозы — самые химически активные части биосферы, проникнутые вечно изменяющейся под влиянием жизни чрезвычайно химически активной водой.

Это места создания гидратов, гидратного связывания морской воды путем сложных процессов, в которых участие жизни бросается в глаза на каждом шагу и которые не идут или идут в малой степени и в иной форме в ее отсутствии.

Этим путем создается большая часть тех глин, которые нас всюду окружают и в составе которых преобладают алюмо- и феррисиликатные кислоты, т. е. минералы семейства каолиновых соединений.

Безжизненный соляной раствор состава морской воды при термодинамических условиях биосферы, лишенной жизни в безжизненной атмосфере, является телом инертным и не создает этого явления. С геохимической



точки зрения оно может рассматриваться как морское, подводное выветривание.

128. Вода гидратов надолго уходит из жизненного круговорота. В тех случаях, когда эти гидратные твердые образования выделились в морях, не принадлежат к глубинам океана, может быть, никогда не входившим в сушу, — они вместе с известняками (продуктами биогеохимического процесса, связанного с установлением солевого состава морской воды) путем тектонических процессов дают начало стратисфере, т. е. осадочным породам.

Вода в конце концов из стратисферы возвращается в извечный круговорот.

В глубоких же океанических осадках часть воды биохимически связывается этим путем на долгие геологические периоды, может быть на все геологическое время.

#### 4. Влияние организмов суши на историю природных вод

„Es ist die Menge, die mir fröhnet  
Die Erde mit sich selbst versöhnet  
Den Wellen ihre Grenze setzt  
Das Meer mit strengem Band umzieht.  
.  
.  
.  
Ein Sumpf zieht an Gebirge hin,  
Verpestet alles schon Errungne,  
Den faulen Pfuhl auch abzuziehen  
Das Letzte wär' das Höchsterrungne.  
Eröfnete ich Räume für Millionen  
Nicht sicher zwar, doch tätig frei zu wohnen.  
.  
.  
.  
Nur der verdient sich Freiheit wie das Leben,  
Der täglich sie erobern muss.  
Hier so verbringt umrungen von Gefahr  
Hier Kindheit, Mann und Greis sein tüchtig  
Jahr.  
Solch ein Gewinmel möcht ich sehn,  
Auf freiem Grund mit freiem Volke stehn“<sup>1</sup>

J. W. Goethe. Faust. II. 1783 — 1831.

129. Совершенно иной характер свойств проявлению биогеохимической работы организмов суши в истории природных вод.

Резкая разница в эффектах жизни в гидросфере и на суше является одним из проявлений той общей диссимметрии в строении земной коры, о которой для воды постоянно приходится напоминать. Она для биогеохимических реакций моря и суши выявляется сейчас особенно резко, ибо на суше, благодаря деятельности такого организма, каким является куль-

<sup>1</sup> Перевод Н. Холодковского, не вполне передающий подлинник:

„Здесь вся толпа мой замысел исполняет:  
Она кладет предел морской волне,  
С самой собою землю примиряет,  
Грань строгую для моря создает.  
.  
.  
.  
До гор болото, воздух заражая,  
Стоит, весь труд испорить угрожая,  
Прочь отвести гнилой воды застой—  
Вот высший и последний подвиг мой!  
И пусть миллионы здесь живут,  
Всю жизнь, в виду опасности суровой,  
Надеясь лишь на свой свободный труд.  
.  
.  
.  
Лишь тот достоин жизни и свободы  
Кто каждый день за них идет на бой!  
Всю жизнь в борьбе суровой, непрерывной  
Дитя и муж и старец пусть ведет,  
Чтоб я увидел в блеске силы дивной  
Свободный край, свободный мой народ!“

турный человек в последние один-два десятка тысяч лет, происходит резкое изменение и чрезвычайное усиление извека шедших геохимических процессов, имеющих значение в истории воды. В древних областях культуры, в густо населенных местностях Азии, Европы, Африки изменен и режим, и химический состав всех водоемов и рек в частности. Подобно тому, как это мы наблюдаем для полей, садов, искусственных насаждений и лесов, здесь исчезли старые девственные воды. Вся природа плейстоцена, вся биосфера, меняется деятельностью цивилизованного человечества. „Девственные“ реки быстро исчезают или исчезли и заменились нового типа образованиями, новыми водами, раньше не существовавшими. На огромной территории Евразии, а за последнее столетие в Америке и в Австралии — во всей биосфере идет переработка природных вод и одновременно создание новых культурных рек, озер, прудов, прибрежных морских образований, почвенных растворов. Начало процесса теряется в седой исторической древности Египета, Месопотамии, Средней Азии, Китая. Немногими тысячелетиями позже он начался в Центральной Америке. А в XIX и XX веках кривая изменения небывало резко поднялась вверх, охватив всю биосферу.

Этот процесс идет вглубь, меняет режим пластовых вод биосферы и стратисферы. Тысячелетия идет изменение верховодок — вод грунтовых, позже началось изменение бурением и рудным делом вод пластовых напорных. Сейчас оно местами сказывается глубже двух километров от земной поверхности.

На всей биосфере исчезают и изменяются старые виды поверхностных, пластовых вод, вод почв и источников создаются новые культурные воды.

130. Река меняется ее использованием для ирригации и находящимися на ней поселениями человека. Но еще больше она (состав ее воды, в частности) меняется тем изменением, какое вносит культурный человек в окружающую живую природу. Превращение девственной ее формы в культурную резко отражается на составе почвенных растворов, на ходе испарения метеорных вод — на процессах выветривания. Культурная работа человечества, влияя на состав атмосферы, меняет состав дождевых и снеговых вод — столь ясно, например, для миграций серы или азота (§ 558).

Но и более непосредственно человек меняет реку. В густонаселенных, культурных местах каждый ручеек, источник, мелкая речка меняется в своем режиме человеческим трудом, превращается в культурный водосток. Этим путем не только совершается большее изменение, чем какие-нибудь огромные изменения, связанные с регулированием русла больших рек и использованием их энергии, но все эти воды постоянно поддерживаются волей и трудом человека в нужном ему направлении, часто противоположном природному процессу. Вся поверхностная и грунтовая вода, например, такой страны, как Германия, находится под непрерывным действенным надзором, непрерывно человеком меняется. В этом заключается культурная работа земледельца и горожанина. Эта работа производится часто незаметно, требует непрерывного внимания, поправок и изменений, производится бы том — работа миллионов семей в течение тысяч поколений. Работа по своим последствиям количественно огромная, стихийная.

131. Современная вода суши (вода поверхностная целиком, а частью верховодка, почвенная) есть геологически новое явление в истории планеты, небывалое в прежние геологические эпохи. Вековечный ход воздействия живого вещества на воды изменен появлением одаренного разумом и волей *Homo sapiens faber*.

Изменение всей воды суши под его целевым, сознательным, а попутно и бессознательным, влиянием все увеличивается.

В связи с этим идут неисчислимые изменения во всем механизме биосферы. Изменение природных вод культурой есть тот рычаг, которым человек, желая или не желая, это производит.

132. Но культурный человек не только резко меняет режим существующих водоемов. Он создает — произвольно — новые, небывалые их формы. Так, например, созданы рудные воды (§ 639) или те наземные и подземные воды, которые связаны с отбросами химической промышленности.

Человек с каждым десятилетием все усиливает проявление своей работы. Ибо он начинает углублять использование вод как источника энергии. Начатое более 5—6 тысячелетий назад, оно сейчас принимает новые формы. По Б. П. Вейнбергу (1929) к концу первой четверти XX века человечество уже использует около 1% энергии водотоков (белый уголь) и около  $1.10^{-7}\%$  энергии волн и приливов (синий уголь). Ясно, что это процесс только что начавшийся, но уже оказавший могущественное влияние на окружающую природу. Впереди не только окончательный захват всей этой энергии, но и новые, раньше небывалые изменения извечного хода истории воды в биосфере: таково использование горячих вулканических паров (§ 511) и создание искусственных гейзеров бурением, начатое в XX веке итальянцами Джинори, Конти и Бринкенти (1916), или использование холодной воды морских глубин, вводимое в жизнь французом Клодом (D. Claude, 1928), или регуляция метеорных осадков в связи с интересами земледелия, стоящее на очереди использование энергии морских волн.

Меняя отношение моря или суши, голландские польдеры или осушения Зюдерзее, морские каналы, как Суэцкий или Панамский, отражаются в едином целом Природы совершенно неожиданными и новыми явлениями в истории природных вод. В. Гете, заканчивая жизнь своего Фауста, ища как натуралист и поэт величайшего воздействия человека на природу, направил его работу на изменение границ моря и суши — на захват суши части поверхности моря. Сейчас эта работа идет на всей планете — в масштабе новом и неггаданном сто лет назад, когда заканчивалось великое создание этого гения.

Мы лишь в начале механического воздействия на окружающую сушу. Гидромонитор (водобой), изобретенный Фишером в 1860 годах, сейчас открывает новую форму воздействия жизни на рельеф планеты.

Водяной пар является главной силой, приводящей в действие наши машины — то орудие, которым человек меняет лик земли и режим природных вод. Сейчас (1930) в Англии, напр., все другие, независимые от водяного пара, двигатели — газовые, масляные и т. п. составляют всего  $1\frac{1}{2}\%$ ; остальные — все паровые двигатели (A. Ewing, 1931).

133. Сейчас мы живем только в самом начале психозойной эры. Охватить результаты ее целиком еще невозможно.

Мы находимся еще в переходном времени. Однако мы не можем оставить без внимания надвигающуюся, меняющую историю и состав природных вод, силу.

Выдвинулись проблемы количественного учета — во всем разнообразии — изменения природных вод человеческой культурой, приходится восстанавливать характер тех вод, какие существовали сто тысяч лет тому назад и в прежние геологические периоды. Эти проблемы едва затронуты, но они могут быть охвачены научной мыслью, и необходимо стремиться к их разрешению, не упускать их из виду при изучении истории природных вод.

Мы находимся здесь в том же положении, в каком сталкиваемся и в других отделах минералогии, — с появлением культурой созданных новых природных соединений, меняющих историю природных тел того же или близкого состава. Я касался уже этого в истории металлов (I, § 267 и сл.); то же самое отражается и в истории природных газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и т. п.). Эти новые типы химических соединений — „искусственных“, т. е. созданных при участии воли и сознания человека, пока могут быть оставлены в стороне при изучении истории природных тел.

Но это явно временное решение вопроса. В истории ряда минералов, например, углекислоты, нельзя не считаться с продуктами человеческой работы. Нельзя не считаться с ними и в истории природных вод. Но, с другой стороны, невозможно и вводить их целиком сейчас в наше рассмотрение. Множество вод, связанных техникой, вечно и быстро изменчивой, — являются временным, переходящим явлением. Многие из новых вод ничтожны по массе — являются редкими, быстро исчезающими „минералами“.

Я буду касаться этих новых вод — созданий культурной жизни — только постольку, поскольку это необходимо для понимания существенных основных черт истории природных вод. Но это, конечно, только временное решение вопроса — это исконный путь натуралиста, ищущего в сложном явлении реально в данный момент важное, а не логическую последовательность.

134. Есть еще одно явление, связанное с культурным изменением природных вод суши, которое неизбежно должно нами изучаться, хотя обычно не оценивается в своем значении.

Это то изменение, которое вносится в окружающую природу вообще и в историю природных вод в частности изменением живых организмов — созданием культурных животных и растений и заменой ими девственной живой природы.

Это влияние культуры сказывается для всех минеральных продуктов, резко меняет историю всех водозных минералов. Мы нигде не видим их уже в древней докультурной форме.

Нигде это не сказывается так резко, как для природных вод суши.

Очень вероятно, что именно изменение человеком живой природы — создание земледелия и скотоводства, — резкое и основное изменение древней фауны и флоры, создание нового лика жизни в биосфере — меняет историю природных вод более глубоко и по существу, чем бросающиеся в глаза изменения человеком режима и характера поверхностных вод суши.

Ибо этим путем резко и по существу меняется основная черта организованности биосферы — почвенный покров суши, педосфера.

Мы не привыкли сознать, какие изменения вносит человеческая культура в историю природных вод, и не привыкли это учитывать.

Из бесчисленных нас окружающих явлений этого рода достаточно привести один пример, выясненный Ф. Камероном (1924), — историю озера Ута (Utah).

Озеро Ута вместе с Большим Соленым озером (Great Salt Lake) в штате Ута является остатком существовавшего в плейстоцене огромного пресного Бонневильского моря, превышавшего размерами современные наибольшие пресноводные озера. Озеро Ута было пресным еще в 1883 году, когда оно под влиянием расширения человеческой культуры стало превращаться в соленое. Его солевой остаток — в 1883 году по Ф. Кларку равный  $3,06 \times 10^{-2} \%$ , — в 1899 году по Ф. Камерону равнялся  $8,92 \times 10^{-2} \%$ , а в 1903 году озеро уже было соленым, и солевой остаток был по Б. Брауну  $1,28 \times 10^{-1} \%$ . Изменение произошло под влиянием того, что человек отвел — ослабил для ирригации пресные воды, которые питали озеро Ута. Из пресного озера состава  $O-Ca-S$  оно превратилось в соленое  $O-Cl-Na-S$  (см. §§ 751, 758), превратилось трудом человека, для него самого незаметно и неожиданно.

135. Культурное человечество есть новый факт в геохимических процессах, и оно в своем воздействии на биосферу всецело входит, несмотря на большие и важные новшества, им вносимые, — в рамку общих биогенных процессов.

И до него жизнь могущественно влияла и сейчас влияет на историю природных вод суши.

По масштабу и по интенсивности это влияние далеко пока оставляет за собой работу человечества, — идет впереди.

Эти биогенные миграции элементов, меняющие природные воды, — одно из основных проявлений организованности биосферы.

Организмы суши влияют на историю природных вод и разнообразнее и значительнее, чем организмы океана. Они, главным образом сухопутные организмы, чрезвычайно и своеобразно поднимают значение суши в геохимии планеты.

Живое вещество океана и морей лишь сложным косвенным путем отражается на водном режиме атмосферы (§ 120), живое вещество суши входит как важный фактор в этот режим, коренным образом на него воздействуя.

Жизнь суши — растительность древесная и травяная, население болот и стоячих вод — врывается в баланс:

водяные пары → воды и поверхность суши  
атмосферы ←

в такой степени, в какой это не сказывается на поверхности океана.

В частности высший зеленый растительный мир играет большую роль в круговороте парообразной воды тропосферы.

Роль этих организмов здесь очень разнообразна: она сводится на регулирование процесса; в иных случаях организмы задерживают процесс, в других они его усиливают. Жизнь непосредственно влияет на наземные, метеорные, почвенные воды, верховодки.

Основными для жизни являются метеорные воды тропосферы в виде осадков, падающих на землю.

Перехватывая эту воду и удерживая часть ее на земной поверхности и внутри себя, организмы образуют сплошной слой особого вещества, богатого водой, со своими особыми законами геохимических миграций.

Вода, попадая в организмы суши и в них удерживаясь, представляет такую форму нахождения, которая резко, в несуществующей для водных организмов форме, отделяется от других форм природных вод. Она вступает в нового рода связь с окружающей средой.

136. Изменения сказываются прежде всего на водном режиме атмосферы. Пары тропосферы находятся в трех для них различных средах: 1) в безжизненной, инертной поверхности литосферы (коре выветривания), 2) в водных бассейнах суши и 3) в организмах (в живом веществе суши).

Наибольшее значение имеют живые организмы — главным образом преобладающая по массе зеленая растительность суши — в циркуляции паров тропосферы.

Зеленая растительность водой создается и неразрывно связана с водными парами и метеорными осадками. В своем развитии она меняет режим подземных верховодок, так как растения берут непосредственно из них или из почвенных и подпочвенных вод корнями нужную влагу.

В связи с этим процессом идет сложная транспирация растений, отдающих в атмосферу воду в виде паров.

До известной степени растительность суши играет роль своеобразных насосов, выкачивающих жидкую воду из почвенных растворов и грунтовых верховодок и передающих ее в виде паров в тропосферу.

Явление транспирации очень сложное; важно отметить основной факт. Всякий луг, поле, лес испаряют жизненным процессом в тропосферу больше паров воды, чем они ее получают в виде метеорных осадков.

Учитывая площади суши, покрытые сплошной растительностью, и то, что эти площади испаряют в несколько десятков раз больше, чем сплошные площади воды, становится ясным, что благодаря живым организмам в механизме круговорота воды в тропосфере, суша может получить значение гораздо большее, чем это казалось бы с первого раза.

Площадь суши почти в три раза меньше площади океана. Испарение и поглощение водных паров идет с поверхности, так что казалось бы значение суши в этом процессе должно было бы быть в несколько раз меньше значения океана. Но зеленая растительность в десятки, может быть, в сотни раз увеличивает испаряющую и поглощающую поверхность суши. Зеленый травянистый организм испарением и транспирацией непрерывно пропускает количества воды, в 250—1000 раз превышающие его вес, не больше 0,2% ее задерживается организмом для построения своего тела. Едва ли является ошибочным утверждение, что площадь суши, раз она сплошь покрыта зеленой растительностью, во много раз должна превышать по количеству испаряемой воды испарения водных бассейнов Земли. Если в действительности нет такой разницы, то только потому, что испарение водных бассейнов происходит не со спокойной ровной поверхности, а связано с деятельностью ветров. Транспирация растительности во многом сглаживает на суше иссушающую работу ветра и выравнивает до известной—значительной—степени роль суши и океана в балансе испарения природных вод. Живой организм, защищая себя (и нужную ему влагу), производит геохимическую работу планетного характера.

Не меньшее значение зеленой растительности суши и в явлении росы — наземной и подземной — механизме, отсутствующем в водных бассейнах, влияющих на него косвенным образом, меняя влажность и охлаждение суши, — но механизме первостепенного значения в структуре суши и в истории природных вод суши.

137. На суше организмы ее водных бассейнов играют несравненно большую роль в равновесии:

природные воды  $\rightleftharpoons$  живое вещество,

чем морские или океанические организмы, если мы сравним результаты производимой ими геохимической работы с массой тех и других вод.

В водных бассейнах суши с этой точки зрения бросаются в глаза два явления: 1) большая по сравнению с океаном интенсивность биогенных процессов в водных бассейнах суши, и 2) резко иной характер органо-генных образований, выходящих из круговорота — вода  $\rightleftharpoons$  жизнь — и уводящих из него часть воды.

Большая интенсивность биогенных миграций водовместилищ суши связана с несравнимой с океаном их глубиной — в общем с чрезвычайной мелководностью водовместилищ суши. Вследствие этого они глубоко проникаются лучеиспусканием Солнца и интенсивно захвачены жизнью. Воды суши — за немногими исключениями (например, такие пресные моря, как Байкальское) — образуют целиком одно единое сгущение жизни, тогда как в океане эти сгущения разделены огромными толщами воды, бедной жизнью, иногда в километры мощностью.

Уже благодаря этому вся химия пресных, соленых и рассольных вод суши резко отличается от вод океанических и морских.

138. К этому присоединяется совершенно иной водный режим — и химический состав — самих организмов суши (и сухопутных и водных) и морей и океанов.

Два обстоятельства должны быть здесь отмечены: 1) характер диффузионных процессов между водной средой и водой живущего в ней организма, и 2) роль наземных организмов в режиме наземных водных бассейнов.

В равновесии — вода  $\rightleftharpoons$  организмы — для суши как для ее водных, так и для ее сухопутных организмов нет в организме изотоничности внутренних жидкостей с окружающей их водной средой. Осмотические явления получают поэтому большое значение в отличие от морской жизни (§ 124).

Состав водных жидкостей живого вещества гораздо более меняется и нередко резко отличен от окружающей водной среды.

139. Благодаря тем же условиям мелководности и большей береговой линии водовместилища суши находятся в гораздо большей зависимости от окружающего их сухопутного животного мира, чем моря и океаны. И там эта жизнь (например, роль в круговой миграции фосфора, калия и т. п. — в круговороте: суша  $\rightleftharpoons$  море, мира птиц, компенсирующих деятельность рек) имеет большое значение. Здесь же ее значение перво-степенное.

Огромное количество поверхностных вод суши поглощается — в процессе питья — организмами суши как животными, так и растительными. Огромно также и то количество растительных и животных организмов суши, которое вносится в ее водоемы и идет на создание значительной части органогенных минералов водовместилищ суши, выводящих этим путем часть химических элементов надолго из жизненного круговорота.

Отчасти от этого, может быть, в главной части от этого — наблюдается такой резко различный процесс биогенных миграций, приводящий в морских бассейнах к образованию органогенных гидратов кремнезема, окиси железа, может быть, глинозема, безводных карбонатов, может быть, водных алюмо- и ферросиликатов, а в бассейнах суши, содержащих воду углей и битумов на первом месте и в значительно меньшей степени некоторых органогенных минералов, например, гидратов окиси железа или опалов, аналогичных морским.

140. Сама вода наземных организмов во многом резко отличается от воды организмов водных. Повидимому, с одной стороны, и гели и растворы здесь могут достигать гораздо большей концентрации, чем это наблюдается для организмов водных. В некоторых случаях, например, на солонцах, мы наблюдаем растительные организмы, вода которых представляет рассол; эти организмы концентрируют соль из окружающей их почвы.<sup>1</sup> Никогда таких концентраций не наблюдается в морском живом веществе. Повидимому наблюдаются здесь такие концентрированные золи, которые не встречены в морских организмах.

Количество воды в наземных организмах меньше, чем в морских, однако разница не столь велика, как это можно думать. В наземных растениях, среди некоторых насекомых она достигает 90 % или в отдельных случаях значительно больше. В ряде случаев мы имеем несомненно цифры, отвечающие морским, наиболее богатым водою организмам, например, — в сухопутных одноклеточных водорослях и т. п. В других, например, мхи — мы имеем выработанные организмами гигроскопические образования, притягивающие воду. Воды может быть в много раз больше веса сухого организма.

К сожалению вопрос о количестве и характере воды наземных организмов, несмотря на большую литературу, далек от ясности.

141. Растительность (и связанный с ней животный мир) чрезвычайным образом неизменно меняет химические свойства ручьевых, метеорных, почвенных и грунтовых вод, — она меняет этим путем химический состав рек и этим определяет самый состав морской воды (§ 737 сл.). Неизменность этого состава в течение всего геологического времени указывает на неизменность всей структуры живого вещества биосферы и в частности органического мира суши.

Это изменение верхних вод биосферы является главной функцией наземных организмов в истории природной воды.

Можно, для некоторых научных проблем, с удобством рассматривать жизнь, как особую коллоидальную водную систему — „оживленную воду“ Р. Дюбуа (§ 7), — которая войдет в классификацию вод как особое царство прудных вод.

<sup>1</sup> Все эти заключения требуют количественной проверки в виду малой изученности вопроса. Растения солонцов несомненно содержат иногда рассолы и вытягивают соль из почвы.

Создание такого царства природных вод меняет все поверхностные воды суши в такой степени, как этого не производят организмы океана в океанической воде, так как такая „оживленная вода“ по массе соизмерима с водами суши и ничтожна по сравнению с массой океана.

Организмы суши создают свою водную массу в основной по весу части— в растительном покрове суши—из почвы, из воздуха, из метеорных осадков, в меньшей степени из поверхностных и грязевых вод, из верховодок.

142. Основную роль играют почвенные растворы, покрывающие непрерывной пеленой почти всю поверхность суши и являющиеся одной из главнейших и основных форм природных вод. Их роль в экономике природы исключительная.

Так как водные растворы в растениях не изотоничны с почвенными растворами, растения, беря из них воду, оказывают огромное влияние на характер самого почвенного раствора.

Жизнь, с одной стороны, регулирует здесь образование гумуса, органического вещества почвы, выводя этим путем часть воды из круговорота, а с другой стороны, меняет коллоидальную структуру почв, неизбежно связанную с огромной их влагоемкостью. Часть волосной воды почв, этим определяемая, неподвижна.

Почва в природных условиях часто удерживает 15% и больше такой воды по весу.

Но организмы меняют почвенные растворы и другим путем. Во-первых, они частью создают ее компоненты, например, характерные для почвенных растворов органические вещества,  $\text{SO}_4^{''}$ ,  $\text{CO}_3^{''}$  и  $\text{HCO}_3'$ ,  $\text{NO}_3'$ ,  $\text{NH}_4..$ , и, во-вторых, они при питании выбирают из почвы нужные им ионы и элементы, т.е. определенным образом обрабатывают состав почвенного раствора. Почва и зеленый растительный мир и ее микроскопические фауна и флора представляют единое химически не делимое динамическое равновесие.

Почва—могучий фактор, который почвенным раствором меняет состав поверхностных вод, в частности рек (§ 584). Речная же вода определяет состав морской воды.

Коренным образом меняя, определяя количественный состав и газовый режим почвенных растворов, организмы суши в конце концов определяют и влияя на солевой состав соленой воды океана.

143. Существует огромная, распространенная, хотя и не собирающаяся в больших водовместилищах группа природных вод, которая еще в большей степени—или в равной—с почвенными растворами является продуктом жизни.

Эти воды находятся вне организмов, но изменены ими не менее, чем воды, составляющие часть тела организмов (§ 117). В них поселяется микроскопическая жизнь, и еще больше увеличивает в них проявление биогенных миграций организмов.

Я называю эти воды—биогенными или органогенными водами и сколько возможно принимаю их во внимание.

Это—прообразы культурных вод,—они существовали во все геологические периоды.

Рассеянные в растительных сообществах, они недолговечны, постоянно возобновляются, в каждый момент охватывают огромные массы воды. Их роль и значение—и их масса—также важны в механизме биосферы, как важна роль луж (§ 585).

Они собираются в дуплах, цветах, на листьях и ветвях, проникают во влажных и тропических лесах и степях, в пещерах и на скалах (во мхах) все разнообразие зеленого растительного мира.

Их состав и их газовый режим разнообразен. В общем их значение в истории воды биосферы по видимому одного порядка с значением воды, захваченной внутрь самими организмами.



144. Живое вещество является незаменимой и важной частью основных круговоротов воды биосферы и через эти круговороты глубоким образом меняет всю историю земной коры. Это главным образом наземные организмы суши, которые исполняют в водном механизме биосферы первостепенные функции, связанные с передвижением водных масс из одной геосферы в другую, первым делом в обмене водяных паров и водных растворов в пределах биосферы.

Их значение в этой части механизма биосферы так велико, что не может не быть особенно подчеркнуто.

В биосфере, где находится живое вещество, можно различить три разных оболочки (геосферы): гидросферу, кору выветривания и тропосферу (I, § 33). Но в истории воды действие живого вещества выходит за эти пределы и сказывается, с одной стороны, в стратисфере (I, § 32 доп.—осадочная оболочка) и, с другой— в тех магматических выделениях (вулканических процессах), которые проникают в биосферу и вносят в нее чуждые ей условия метаморфической, может быть, магматической оболочки.

Так как это все явления повторяющиеся и непрерывно в биосфере существующие, то очевидно они представляют части ее организованности и как таковые должны обратить на себя научное внимание.

145. Я уже указывал на значение наземной растительности в обмене водных масс между корой выветривания и тропосферой (§ 136), точно так же на то влияние, какое организмы суши играют в создании морской воды (§ 126 сл.).

Организмы суши влияют на океан и другим путем, и в дальнейшем мы с этим встретимся. Здесь я отмечу лишь два процесса: с одной стороны, питание наземных организмов морской пищей. Этот процесс идет в таких размерах, что, может быть, компенсирует— во всяком случае возвращает на сушу соизмеримую часть тех масс химических элементов, которые реки в растворе приносят с суши в море.

С мезозойской эры эту роль главным образом играют птицы.

Другой формой является захват частей моря растительностью суши и создание этим путем новых видов вод. Таково образование подтропических болот—Таксодиевых, например,—или не менее мощных—мангровых.

Вся область этих явлений не исследована в достаточной мере химически и не учтена с точки зрения истории природных вод.

146. Не меньше значения имеет живое вещество суши в создании режима вод стратисферы и метаморфической оболочки. Здесь нельзя отделить живой мир суши от жизни моря. Но так как стратисфера и метаморфическая оболочка отсутствуют под главной частью гидросферы (§ 90), а стратисфера построена в значительной мере при участии жизни моря (не океана), в дальнейшем на нее не влияющей,—то можно принимать во внимание жизнь суши, а не океана, говоря об изменении уже сложившейся стратисферы, а следовательно и метаморфической оболочки.

Мы увидим, что в биосфере зеленые растительные организмы, создавая кислород, придают всем вадозным водам особый характер. Это воды азотно-кислородные и углекисло-азотно-кислородные (§ 522—523). Уже в стратисфере и глубже кислородных вод нет. Здесь господствуют воды азотно-углекислые и вероятно углекислые.

Углекислота, проникающая эту часть земной коры, создана однако в значительной части тоже жизнью.

Этот огромный процесс, только что начинающий выясняться и аналогичный созданию свободного кислорода, в истории воды имеет первостепенное значение, определяет характер главных масс вод суши.

Углекислота или есть продукт биохимических процессов или же является продуктом сгорания всюду рассеянного „органического вещества“.

Значительная часть углекислоты вулканических извержений, газовых струй, минеральных источников окажется в конце концов органогенной.

147. Здесь мы подходим к другому проявлению живого вещества в обмене воды между геосферами.

Органическое вещество, проникающее все вещество доступной изучению земной коры, все — биогенного происхождения. Его водород в подавляющей части получен организмами путем разложения молекул воды.

Оно всегда содержит воду лабильно связанную как химически, так и физически. Такая вода находится в гумусе почв и грязей, в углях, битумах, нефтях.

Медленными геологическими процессами эти органические вещества, остатки тел и метаболизма организмов из биосферы попадают в стратиферу, в метаморфическую оболочку.

Вода этим путем уносится из биосферы; это одно из проявлений геохимической энергии жизни.

148. Она частью и непрерывно возвращается в биосферу назад.

Прежде всего она возвращается во время вулканических извержений.

В тропосферу непрерывно во время всякого вулканического извержения — наземного и морского — вулканические излияния идут через стратиферу и кору выветривания и меняют их вещество, выбрасываются огромные количества водяных паров, часть которых произошла путем сгорания органического вещества, как мы видели, продукта жизни.

Всякое сгорание органического вещества является синтезом воды (§ 331 сл.) и дает в тропосферу значительное количество водяных паров такого происхождения. Оно не может быть безразличным в ходе времени. Культурная деятельность человечества является фактором, все более и более увеличивающимся в том же направлении.

Возвращается этим путем в биосферу не только гигроскопическая вода, но и водород органического вещества вновь дает воду, из которой он был восстановлен.

Конечно, не вся вода вулканических извержений имеет такое происхождение, но значительная часть ее, какая — мы сейчас не знаем.

Жизнь проявляется в этом синтезе своей геохимической энергией двойным образом: свободным кислородом атмосферы, ею создаваемым, и водородом своего органического вещества.

149. Сгорание органического вещества идет не только в биосфере — деятельностью ли вулканических извержений, человека, независимых от него природных пожаров.

Оно идет и глубже — в областях стратиферы и в метаморфической оболочке.

Там несомненно должна с повышением температуры выделяться гидратная и гигроскопическая вода, связанная с продуктами изменения организмов суши. Но там — все указывает — идет и более глубокий процесс метаморфизации такого органического вещества, новый синтез воды, химически более сложный, чем простое сгорание.

Этим процессом вероятно создается большее количество фреатической воды, чем мы себе это обычно представляем.

### III. Коллоиды и капиллярные воды в земной коре

#### 1. Общие замечания

150. В истории природной воды огромное значение имеют не только ее химические свойства, но и те физические связанные с ней явления, которые мы относим сейчас в область частичных или молекулярных сил.

Это—явления, идущие на границе жидкой воды и всякой с ней связанной разнородной среды—твердых, жидких и газообразных тел какого бы то ни было состава. На границе соприкосновения развиваются частичные силы, изменяющие и воду и тело, которое с ней соприкасается.

Эти явления можно выражать разными образами, отбрасывать понятие „сила“, но дело от того не изменится, выражение не станет более научным. Для тех явлений, которые нас интересуют, выражение их в образах частичных сил имеет удобства, которых автор будет придерживаться.

Это проявление прежде всего так называемых коллоидальных и волосных свойств воды и изменения ею этим путем бесчисленных химических соединений, которые входят в состав природных вод. Сейчас в этой области явлений не установились еще наши представления. Нет резко господствующей научной теории, несмотря на огромную научную работу, произведенную и производимую в области этих явлений. Два основных представления сосуществуют; из обоих можно брать образы для научной картины явления. Одно более старое, научно охваченное еще в XVII и XVIII веках, сводит явление на частичные силы воды и находящихся в ней тел, на силы отталкивания и притяжения между частицами и атомами. Другое, более новое, видит причину явления в изменении пространства, занятого веществом, в нашем случае природными водами. Оно рассматривает коллоидальные и волосные силы, как явления электрические. Оно ближе сейчас к тем научным представлениям, какие отвечают картине физического мира XX века, но оно далеко еще от охвата точным числом и точною мерой разнообразнейших явлений частичной физики. Совсем не разработаны представления еще более отвлеченные о диссимметрии, неизбежно проявляющейся на границе соприкосновения двух тел, как основе явления.

Учитывая одновременное существование разнородных представлений и объяснений, малую разработанность самых глубоких из них и теоретическую неясность наблюдаемых процессов, можно утверждать, что их значение в истории природных вод только увеличится с ходом времени: многих сторон явлений мы еще не видим. Но уже и сейчас эмпирический материал позволяет—без всяких колебаний—выдвигать эти явления на самое видное место в минералогии природных вод.

Я уже отметил в самом начале то значение, какое частичные силы приобретают в основных явлениях природных вод, например, в равновесиях: природные воды  $\longleftrightarrow$  твердое тело (§ 11).

Для некоторых относящихся сюда явлений теория — в форме научных гипотез и моделей — достигла большого совершенства и позволяет с явным успехом количественно охватывать довольно заметную часть наблюдаемых фактов. Эти разработанные и научно охваченные части учения о частичных явлениях природных вод не объединены все же в единую широко признанную теорию.

Можно отличить здесь две категории явлений: во-первых, коллоидальные состояния и проявления природных вод и, во-вторых, волосные и другие их свойства, связанные с поверхностным натяжением.

151. Можно видеть в этом эмпирическом делении особые — разные — формы возбуждения частичных сил. В первом случае вода охватывает со всех сторон сторонние твердые (реже жидкие и газообразные) тела, при чем — под влиянием частичных, иногда химических сил — размеры этих сторонних включенных в воду (или водный раствор) тел становятся все меньше по мере того, как система приближается к устойчивому равновесию; охваченные водой тела — молекулы — дробятся. Во втором — частичные силы развиваются на границе водных масс и окружающих их других физических тел; эти силы развиваются и на границе воды в коллоидальном состоянии с окружающим ее, дробящимся, телом.

Неизбежно, автоматически, проявляются частичные силы и возбуждают в соприкасающихся телах, из которых одним является вода, в окружающей среде новые явления — коллоидальные состояния. Очевидно, как велико должно быть их проявление в земной коре, где, как мы видели, вода играет совершенно особую роль и все проникает.

От положения природной воды по отношению к твердым, газообразным и жидким составным частям планеты прежде всего зависит ее измененный частичными силами характер. В общей картине мы видим, что поверхностные воды, находящиеся на границе с тропосферой, выделяют в грандиозном размере капиллярные явления — в частности всегда ограничены на своей поверхности раствором в особом состоянии и особого химического состава — поверхностной пленкой, областью поверхностного натяжения. Воды подземные, особенно в верхней части планеты, где твердое вещество раздроблено, приобретают неизбежно определенную структуру, распадаются на находящиеся между собою в теснейшем соотношении особые части единой водной — охваченной частичными силами — системы. На границе с твердыми телами образуется тончайшая пленка, охватывающая (в пределе) одномолекулярным слоем все стороннее твердое тело, соприкасающееся с водой — область воды гигроскопической; уже в рамках этих прилипающих к сторонним твердым частицам тончайших водных слоев идут проявления капиллярных свойств пленочной воды, может быть связанные с влиянием проникающих природную воду газов; и, наконец, за ее пределами вода приобретает все нам известные свойства жидкого тела. Входя в соприкосновение с плотными породами, вода, проникая в них, становится нам невидной, образует как бы губчатую массу из тончайшей пленки, проникающую все земное твердое тело.

Достаточно воде дождя попасть в почву, чтобы под влиянием поверхностных сил получилась такая ее структура.

Химически чистая вода и раствор дают все эти явления. Чем мельче частицы твердых тел, с которыми вода входит в соприкосновение, тем ярче и резче проявляются коллоидальные явления.

Мы увидим ниже, какое значение имеет этот характер воды в истории вод нашей планеты.

152. Изменения, производимые частичными ее силами, еще глубже сказываются, когда вся масса воды проникнута мельчайшими, невидными

глазу частицами, когда получаются коллоидальные растворы — золи и гели.

Огромное количество природной воды находится в таких коллоидальных системах. Сюда должна быть отнесена почти вся вода организмов, еще большая по весу вода почв и подпочв, как почвенных и подпочвенных растворов, так и твердых почвенных и подпочвенных составных частей. Золями являются почти все поверхностные природные растворы суши; в составе биосферы и стратисферы заметная часть твердого вещества находится в форме гелей и аморфных масс, богатых водой.

Золи и гели были выделены уже первыми учеными, вдумывавшимися в эти явления. Золи представляют коллоидальные образования, в которых капельножидкая вода резко преобладает над проникающими ее коллоидальными тельцами; гели являются коллоидальными массами, в порах которых содержится капельножидкая вода, образующая как бы губку, в пустотах которой находятся коллоидальные структуры.

Обычно в природных водных растворах границы между золями и гелями резкие. Вязкие и клейкие промежуточные текучие образования, так же как студии, в природе отходят на второе место хотя легко могут быть приготовлены в лабораториях. Для невооруженного глаза и без точного физического исследования природный золь не отличим от капельножидкой воды.

153. В ясно выраженных резких природных золях, какими являются почвенные растворы наших широт по К. К. ГедроЙцу (1912), коллоидальные тела составляют  $2 \cdot 10^{-2}$ — $1 \cdot 10^{-3}\%$ ; в воде пластичных глин Девоншира их количество достигает  $5 \cdot 10^{-2}\%$  по Д. Меллору (1923), а в каолинах спускается до  $5 \cdot 10^{-3}\%$ .

В самых богатых до сих пор нам известных природных золях — в озерных водах, богатых коллоидальными алюмосиликатами, процент коллоидов доходит до 1% (Э. Р. Велекинд и А. Штраубе, 1922).

Очень может быть, что это представление изменится, если этот вид поверхностных коллоидальных вод окажется в биосфере более распространенным и разнообразным, чем мы это сейчас думаем. Явление слишком мало изучено, чтобы можно было отрицать эту возможность. Но уже сейчас ясно, что как бы ни были развиты эти природные богатые коллоидами золи, — господствуют по массе захваченной ими воды только золи, процент коллоидов в которых не превышает немногих сотых долей процента ( $n \times 10^{-2}\%$ , едва ли  $5 \cdot 10^{-2}\%$ ).

В частности по отношению к главной массе воды — к гидросфере — проникновение ее золями еще меньше; оно заметно выступает лишь в донной и в грязевой областях (сгущениях жизни берегов и дна) и отчасти в планктонной пленке.

В подземных водах стратисферы и, может быть, в верхней метаморфической области с глубиной коллоидальный характер вод повидимому вначале увеличивается.

Однако это явление не может идти очень глубоко, так как, под влиянием давления, золи свертываются в гели. Есть предельные давления (очень большие — выше 17 000 атмосфер, например, для  $\text{MoO}_3$ ), дальше которых золи не существуют (R. Wilson, T. Poulter, 1929). Для  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , например, по Уильсону и Паультеру предел лежит выше 300 атмосфер.

154. Влияние давления очень мало изучено, и потому надо судить здесь с большой осторожностью. Надо ждать, что с глубиной коллоидальные растворы становятся неустойчивыми и в этих областях могут образовываться гели, сгустки, реже студии, в которых свойства мицелл преобладают над свойствами воды, и тела этого рода должны в минералогии выходить из группы природных вод в другие минеральные группы.

Так в стратисфере и в нижних частях биосферы вероятно нередки студнеобразные формы кремнезема, полужидкие опалы, переходящие быстро в твердые массы. В них по весовому процентному составу вода преобладает, и они имеют все аналогии с рассольными водами, которые мы относим к природным водам. Но такие студнеобразные массы кремнезема или богатые кремнеземом мы относим — как минералы — к опалам, а не к водам, ибо во всей своей истории в земной коре они неразрывно связаны с опалами и с кварцем, а не с водой. Эти студнеобразные гели очень мало изучены.

Возможность связи таких гелей (студней) с природными водами — с их равновесиями — мы будем также принимать во внимание, как и возможность связи с ними выделяемых водами гидратов солей, где тоже иногда вода преобладает (например, в мирабилите  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  — 55,90%  $\text{H}_2\text{O}$ ).

155. Удобно при дальнейшем рассмотрении исходить из тех современных представлений о коллоидальных явлениях, которые сводят их к образованию тончайших мутей твердых частиц в воде — дисперсных систем, — при чем под влиянием поверхностных сил этих частиц и молекул воды происходит их взаимное влияние, развивается особое поле молекулярных сил, особого рода электрическое состояние пространства, занятого водою. Это коллоидальное состояние связано с определенными — ничтожными размерами посторонних частиц, находящихся в водах; размеры их лежат в пределах  $10^{-5}$  —  $10^{-7}$  см; частицы обладают особым электрическим состоянием.

Несмотря на отсутствие точно установленной научной теории этих явлений, все же благодаря их огромному значению и в науке — в биологии, в физике, в химии, в минералогии, в почвоведении, — и в жизни (например, в медицине и в земледельческой химии), в этой области накопилось огромное количество фактов, эмпирических обобщений и частных разработанных научных гипотез, которые часто позволяют идти уверенным путем.

Современные представления основаны, в конце концов, на идеях немца К. В. фон Негели (1883) и русского П. П. фон Веймарна (1907). Они вошли в научное понимание лишь за последнее десятилетие. Большое значение в этом отношении имеют работы Ф. Амброина, позволившие в ряде случаев реально наблюдать и изучать мицеллы. Негели впервые установил, что химические однородные твердые соединения (определенные или неопределенные) распадаются в коллоидальных средах в мельчайшие частицы — мицеллы, поверхностные свойства которых главным образом и определяют коллоидальное состояние материи. Веймарн развил идею Негели, доказав опытом, что мицеллы имеют кристаллическое строение (предвиденное Негели) и в зависимости от своей величины (дисперсности) дают, с одной стороны, переходы в молекулы, а с другой стороны — в более крупную муть (ср. I, § 205 сл.).

Эти представления придали реальный образ, удобный для научной работы, старым идеям Браконно, Сельми, Грэгэма и других, установивших отличие коллоидов от кристаллических тел. Коллоидальный раствор находится в вечном и сложном движении и все время меняется с временем. В нем устойчивое равновесие и стойкость, характерные и легко достигаемые для основной массы обычных растворов кристаллических тел, устанавливаются — если только устанавливаются — в сложных условиях земной коры только в геологические периоды.

156. Для того, чтобы разобраться в этих явлениях, необходимо обратить внимание на следующее обстоятельство, которое вытекает из положений Негели-Веймарна.

1. Благодаря тем малым размерам, которые принимают мицеллы, проявляются в этих явлениях не те внутренние силы кристаллического сцепления (теср. силы химические или электрические), которые главным образом

изучаются в кристаллографии, а силы кристаллические, векториальные, поверхностные (Вернадский, 1911).

В построении Негели и Веймарна надо ввести сейчас же поправку. Мицеллы могут быть аморфными (ср. § 160) и обладать свойствами жидких кристаллов. В том и в другом случае они лишены кристаллических решеток, векториальность в них выражена только в плоскостях. В природных золях и гелях эти формы мицелл не были констатированы, но ничто не указывает на их отсутствие. Повидимому кристаллические мицеллы преобладают.

2. В мицеллах не наблюдается гидролитическая диссоциация на ионы, которая характерна для обычного раствора.

3. От мицелл есть все переходы в молекулы (и ионы?) и в мельчайшие мути. Одним из характерных признаков последних является их химическая неоднородность. В мицелле мы имеем один химический индивид — в частичках мути несколько.

4. Мицеллы отличаются, таким образом, от ионов и частиц мутей не только размерами, но и своим внутренним строением: мицеллы — кристаллы одного соединения или смеси одинаковых кристаллов или аморфные или смектитовые структуры; ионы — осколки химических соединений; частицы мутей — смесь разных химических тел (кристаллов).

5. Переход мицеллярной структуры в ионную неизбежно вызывает стремление придавать мицеллам такую структуру, которая бы в пределе приводила к ионной структуре: по мере уменьшения размеров мицелл коллоидальный раствор превращается в обычный химически однородный раствор. В то же время со времен работ Негели и Веймарна и даже более поздних Амбронна наши представления о строении кристалла изменились в столь высокой степени, что из отождествления мицеллы с мельчайшим кристаллом вытекают не подозревавшиеся раньше следствия. Кристаллы, особенно в мельчайшем раздроблении, являются телом активным в области частных сил. Эта активность проявляется в электрических явлениях, в существовании вокруг тела электрического поля, в исходящих от него электрических силах векториального характера. Силы кристаллические суть силы электрические, а отвечающие им векторы различны по своей величине в занятом кристаллом пространстве и охватываются принципом симметрии. В то же время помимо кристалла в целом (его кристаллической сетки) должны проявляться и его составные части — атомы и электроны, в определенных типах кристалла обладающие характером ионов, т. е. несущие заряды и могущие приходить в движение.

Совершенно ясно, что создание теории коллоидального состояния материи требует новых представлений, отвечающих природе этих явлений. Для этого прежде всего надо связать достижения новой кристаллографии, определяющей свойства мицелл, с теоретическими представлениями о коллоидах. Только в определенном классе кристаллических сеток, например, могут существовать электрически заряженные ионы.

Эти соотношения не разработаны, — научной теории еще нет. Можно отметить все же некоторые факты, которые кажутся сейчас точно установленными. Во-первых, мицеллы всегда, а может быть часто несут заряды, но все одного знака — при данных условиях. Нельзя сомневаться, что и частицы мути могут быть заряженными. Однозначная электричность мицелл имеет огромное значение, так как не дает им возможности собираться в группировки больших размеров.

На основании заряда мицелл коллоиды являются положительными (с зарядом  $+$ ) и отрицательными (с зарядом  $-$ ). И те и другие в виде золь существуют в биосфере. Выводы из этих их состояний далеко еще не сделаны.

Многие думают, что существование таких систем не может являться устойчивым, если одновременно нет еще иной формы выделения зарядов. Этим вызываются представления о том, что мицеллы выражают только одну сторону явлений. По мнению, например, В. Я. Курбатова (1925)— и еще раньше него Дюкло — в коллоидальных структурах, помимо мало подвижных при диффузии видимых в ультрамикроскоп частиц, существуют быстро подвижные, ионы из немногих атомов, как  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$  и т. п.

6. Вода не относится к мицеллам и к мутям (а также и к ионам) как инертная среда. Она дает гидратные образования, повидимому связанные с химическими процессами и с неизбежной одновременной ее диссоциацией на ионы  $\text{H}^+$  и  $(\text{HO})^-$ . Гидратные формы мицелл характерны для так называемых (Н. Кгнут, 1922) гидрофильных зелей. Коллоиды противоположного характера называются гидрофобными. Гидрофобные золи могут наблюдаться только в пресных водах, так как они свертываются при концентрации ионов растворов; гидрофильные устойчивы и в рассолах.

7. Размеры мицелл колеблются в пределах  $10^{-5}$ — $10^{-7}$  см диаметром; размеры ионов  $10^{-7}$ — $10^{-8}$  см.<sup>1</sup> Размеры мельчайших мутей достигают в минимальном пределе  $10^{-5}$  см.<sup>1</sup>

157. Природные коллоиды дают целую гамму разнообразных тел, начиная от разведенных зелей, где процент мицелл является ничтожной примесью, при чем в огромном большинстве случаев такие золи на первый взгляд не отличимы от простой воды или водного раствора, и кончая телами студенистыми, полужидкими, внешне твердыми, в которых вода составляет по весу меньшую часть (гели).

Чрезвычайно характерным и основным свойством коллоидов является их способность выделять более бедные водой сгустки — свертываться.

Свертывание коллоидов наблюдается в природе в огромных размерах. и представляет грандиозный процесс, идущий в морских грязях, в термальных источниках, в пресных и в соленых водах, в почвах, подпочвах, осадочных породах и т. п. Он может быть рассматриваем как электрическое проявление частичных сил.

158. Вода в зелях и гелях находится по крайней мере в трех формах.

Во-первых, часть ее представляет растворитель. Но помимо этого она входит в состав мицелл.

Здесь она может находиться в двух состояниях: частью в чисто химической связи — в виде гидратов, — и в физическом состоянии — волосном (гигроскопическом) — прилипанию, обволакивая тонким слоем (§ 11) мицеллы.

Это последнее состояние воды совершенно неизбежно при соприкосновении:

твердое тело  $\longleftrightarrow$  вода,

при чем твердым телом является каждая мицелла.

Мы не умеем сейчас разделять эти формы воды, но существование в мицеллах разных форм воды не может возбуждать сомнений. В гелях количество химически или физически связанной воды увеличивается за счет воды капельножидкой — растворителя.

Вода гигроскопическая и растворитель коллоида — являются всегда раствором.

159. Очевидно в зелях преобладают свойства господствующего растворителя. Золи воды называются гидрозелями. Это господствующий в земной коре тип коллоидов.

Гели в воде (например, гели морских грязей, источников, влажных почв) образуют динамические равновесия; они могут в ней „растворяться“, давать

<sup>1</sup> Из аналогичных мутям других компонентов (§ 203) природных растворов мельчайшие организмы дают тела  $10^{-5}$ — $10^{-6}$  см диаметром.

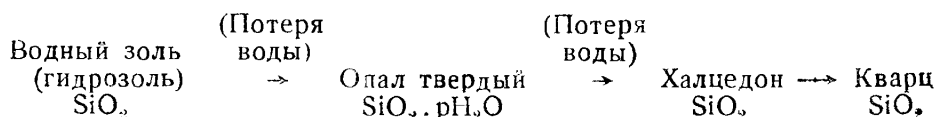


золи (обратимый процесс) или меняться, поглощая или отдавая часть воды. Гели „стареют“ и теряют способность „растворяться“ (необратимый процесс).

На воздухе и в газообразной среде, хотя бы влажной, процесс „старения“ гелей и переход их в бедные водой тела идет быстрее. Он однако имеет предел, дальше которого идет очень медленно, становится с обыкновенной точки зрения незаметным.

Однако в течение долгого — исторического и геологического — времени переход идет до конца, совершается молекулярный процесс, приводящий в конце концов к уходу воды, к распадению исходного тела и к явной кристаллизации мицелл. Очень ярко это сказывается, например, в гелях кремнезема. Выпадая из разведенных золь кремнезема (отчасти свертываясь под влиянием органического вещества) в форме студней, вернее студнеобразных, хлопчатых выделений, в относительно короткое время (может быть, столетия) свертки кремнезема, обедняясь водой, превращаются в твердые опалы, которые в геологическое время превращаются в халцедоны и затем, путем дальнейшей перекристаллизации, переходят в кварцы (I. § 205, 177).

Весь процесс может быть выражен следующей схемой:



Можно явно проследить этот процесс, так как самые древние опалы — бедные водой — не заходят за пределы середины третичной эры (т. е. десятка миллионов лет).

Потеря воды коллоидальными образованиями биосферы в более глубоких частях земной коры, проходя стадию гелей, есть общее, широко распространенное явление, как мы увидим ниже. Соединения Si, Al, Mg, Fe, Mn, Ni и т. п. дают многочисленные примеры этого рода.

160. Кристаллизация геля начинается обычно значительно раньше, и мы, может быть, имеем здесь значительно более сложное явление, чем обычно это считается. Дело в том, что, теряя воду, гели очень часто превращаются не в кристаллическое, а в аморфное состояние.

Природа аморфного состояния нам неизвестна, и мы сталкиваемся здесь с невыясненным опытом состоянием вещества.

Вполне вероятно, что при уменьшении размеров мицелл и при их выпадении и полном высыхании не создается для них возможности проявить свое внутреннее векториальное строение, т. е. обычную кристаллическую сетку, и получаются плотные массы, состоящие исключительно из тончайших поверхностных пленок кристаллов, в каждой из которых векториальность может проявляться только в пределах одной плоскости. Векториальность в пространстве неоднородна и зависит от положения в нем кристаллической пленки и дисперсных мельчайших сеток мицелл.

Этим ли или другим путем можно объяснить строение аморфных тел, несомненно одно — в них на первое место выступают не векториальные явления кристаллических решеток.

Это — как бы мицеллы, потерявшие своего растворителя — водный раствор.

Аморфные тела однако могут заключать воду потому, что, во-первых, мицеллы могут содержать и химическую и растворенную воду, а во-вторых, — аморфные свойства могут создаваться в гелях в процессе дегидратации, аналогично происходящей при этом кристаллизации. Вода, удерживаемая в этих случаях в аморфном теле (например, карбонаты — гургофиан и др.), — есть вода, раствор, оставшийся от растворителя золя.

161. К аморфным телам должны быть отнесены и некоторые стекла, строение которых в общем однако должно быть более сложным и сейчас не охватывается нашими физическими моделями.

В истории природных вод являются представителями стекол многочисленные вулканические стекла, иногда образующие большие массы.

Их образование связано с застыванием магм и лав при сложной химической обстановке, теория которой нам сейчас неясна.

Вода, ими захватываемая — ювенильная и фреатическая — это обычно раствор (химически неизученный), в момент застывания переполненный газами.

Допустимо, что в магматической области наблюдаются такие же стекла — плутонические — бедные водой (§ 170).

162. Образование гелей — свертывание природных гидрозолей, очень богатых водою, является одним из основных процессов биосферы.

Огромная часть ее вещества входит в эти динамические равновесия и постоянно находится в миграционном процессе в связи главным образом с дегидратацией, со старением гелей.

Мы увидим, что все эти процессы разном идут в области океана и в области суши (§ 165 сл.).

В обоих отделах биосферы коллоидальные явления, теснейшим образом связанные с водой, принимают особую форму в проникающем их живом веществе.

Значение коллоидов для жизни так велико, что нередко преувеличивалось, и в свойствах коллоидов искали и ищут объяснения свойств жизни.

В геохимическом эффекте жизни — в отражении воды, находящейся в живом веществе в окружающей среде — свойства ее коллоидального состояния резко выступают на первое место.

Коллоидальная вода — золи и гели — организмов находится в непрерывном контакте, обмене вещества, с коллоидальной водой биосферы.

Золями являются и протоплазма (богатая гелями) и все жидкости организмов (§ 117), ими являются почвенные, донные, грязевые воды, переполненные жизнью. Гелями образована значительная часть скелетных частей организма. Наконец, в форме золей, а частью гелей выделяется значительная часть жизненных отбросов, органических веществ, выделяемых организмами при процессах метаболизма (при переваривании пищи, выделении слизи и т. п.), при отмирании и потере частей организма, при умирании организма.

Можно сказать, что вся биогенная миграция прямо или косвенно идет в значительной мере в коллоидальной — водной — среде.

Ее продуктами — в форме органических веществ — захвачены все природные воды, в том числе вода океана, во всем ее объеме.

В виде гелей и золей часть атомов, бывших в биогенной миграции, выходит из жизненного цикла и в виде самых разнообразных тел — в виде битумов и углей в частности; связанная с водой она проникает путем геологических процессов за пределы биосферы.

163. Как уже указывалось (§ 156), коллоидальные явления теснейшим образом связаны с явлениями электрическими и, может быть, в основе являются проявлениями электрических полей, характеризующих так называемые частичные силы. Изучение природных тел в этом аспекте, если бы оно могло быть сейчас прочно экспериментально поставлено, должно было бы иметь очень большое значение для истории природных вод, связь с которыми и других более грандиозных электрических свойств планеты очень ярко выражена (§ 9). Вероятно природные воды являются самой большой природной планетной областью таких электрических явлений и в микроскопическом разрезе природного вещества.

Но сейчас мы еще далеки от выражения коллоидальных явлений природных вод электрическими моделями. Это дело повидимому недалекого будущего.

Вследствие сложности состава природных гидрозолей чрезвычайно трудно переносить на них лабораторные результаты, имеющие дело с очень простыми, редко наблюдаемыми в природе случаями. Это можно делать почти исключительно только для немногих отдельных минералов, образовавшихся свертыванием зольей.

При малой изученности больших коллоидальных процессов природы — морской воды или почвенных растворов — приходится сейчас ограничиваться немногими замечаниями о процессе, несомненно имеющем место в природе, но ускользающем от научного анализа.

Нахождение в каждой воде ионов  $H^+$  и  $(HO)^-$  должно отражаться на мицеллах, которые, судя по опытам с чистыми зольями, разно притягивают ионы воды, и может быть этим обуславливается их электризация.

В отличие от диэлектрической диссоциации растворов все мицеллы данного гидрозоля, как мы видели, электризованы одинаково: одни — (притягивают  $HO^-$ ), другие — (притягивают  $H^+$ ). (§ 156).

Но это касается чистых гидрозолей с мицеллами одинакового состава, когда можно различить положительные и отрицательные гидрозоли. Иное может наблюдаться в природных условиях, где одновременно могут существовать разнообразные мицеллы.

Так ли это или нет — сейчас утверждать нельзя.

По аналогии с чистыми водными растворами это очень вероятно.

Отталкивательными силами одноименно заряженных мицелл объясняется сосуществование мельчайших частиц, не свертывающихся в большие клубки в тонких золях. Это очевидно должно иметь место, например, в океанических водах.

Явления этого порядка должны иметь еще более сложный характер в природных водах, всегда радиоактивных.

Эти воды — особенно воды суши и морей — все пронизаны излучениями, связанными с радиоактивным распадом.

Характерно, что радиоактивные излучения различно действуют на положительные и отрицательные гидрозоли. Гарди (1903) первый отметил, что  $\beta$ -излучения свертывают положительные гидрозоли и укрепляют отрицательные. Кроуфорд и его сотрудники (1927—1930) подтвердил тоже самое для X-лучей (т. е.  $\gamma$  лучей).

Нельзя упускать из виду вероятное неизвестное нам проявление в области этих явлений космических излучений, проникающих все водные бассейны земли на глубину по крайней мере 275 метров.

Область этих явлений только начинает вскрываться.

164. По отношению к менее дисперсным, чем золи, явлениям — к мути — помимо электрических свойств тончайших мельчайших частиц — их „зарядов“ — имеют значение уже силы иного порядка, ставящие предел величины взмученных частиц.

В виду того, что вся биосфера переполнена движущимися водами и в то же время под влиянием явлений жизни, химических процессов, ветра, самой текущей воды и т. п. вещество суши распыляется и расклевывается, — все природные воды вплоть до океанической воды переполнены мутью. Наименьшие размеры плавающей мути определяются неизбежным образованием сгустков, под влиянием броунова движения жидкости, объясняемого движением молекул воды, или под влиянием падения смоченных частиц мути под влиянием тяготения (ортокинетические движения Г. Вигнера). Частички мути сталкиваются и сцепляются — свертываются. Ортокинетическая коагуляция преобладает в своем проявлении в мицеллах и в частицах мути, достигших уже значительной крупности (для глины  $10^{-4}$  см радиуса). Она однако уже прекращается, когда крупность превышает  $5 \times 10^{-3}$  см. Мелкие кварцевые частицы меньше  $4 \times 10^{-4}$  см радиуса — неизменно притягиваются большими ( $5 \cdot 10^{-4}$  —  $2 \cdot 10^{-3}$  см радиуса)

и выпадают из водного псевдораствора. Для глин при этом не образуется частиц большего размера (радиусом), чем  $2 \cdot 10^{-3}$  см, но частицы меньше  $10^{-3}$  см все исчезают, притягиваются большими (П. Торуля, 1927).

Эти невидные на первый взгляд процессы создают огромные участки своеобразного вещества планеты — биосферу и стратисферу в частности — почвы и морскую грязь, осадочные породы.

Процессы осаждения мути идут резко различно в пресных и в соленых водах; при вхождении переполненных взвешенной мутью пресных речных вод в соленую воду морей и океанов большая часть мути немедленно оседает в соленой воде. Но более мелкая муть входит и в морскую воду, нацело ее проникая. Муть создается вновь — жизнью — в океанической и в морской воде, вносясь в нее ветрами.

## 2. О коллоидальных процессах в разных геосферах

165. Чрезвычайно характерно, что коллоидальные процессы сосредоточены в определенных земных оболочках. Они являются характерными для биосферы, при чем они наиболее резко выражены в веществе коры выветривания, как это подчеркнул для гелей А. Корну (1909), развивая идеи И. Брейгаупта (1847), менее резко — в гидросфере.

В стратисфере, по крайней мере в верхних ее частях, они выражены ярко, постепенно заходя за пределы биосферы.

Повидимому они сходят на нет в верхней части метаморфической оболочки.

В области метаморфизма местами встречаются коллоидальные тела, в которых вода не является растворителем.

Повидимому в глубоких частях гранитной и базальтовой оболочек, как это указывает Р. Дэли (1924), мы должны встретить как господствующее состояние вещества своеобразные формы коллоидов в виде горячих, содержащих воду, кремнеалюминиевых стекол (§ 170).

166. В гидросфере коллоидальные явления в общем не выражены резко.

В общей массе морской воды коллоиды (золи) отступают на второй план; их мицеллы мало заметны по сравнению с водными ионами. Вода эта проявляет коллоидные свойства только в областях, где находится большое количество живого вещества — в живых сгущениях и живых пленках. Здесь биохимически попадают в морскую воду многочисленные органические соединения, дающие золи.

Придонная вода ими проникнута, и они охватывают те природные гели, которые характерны для морских грязей.

К сожалению для этих вод, покрывающих огромные площади океана, нет анализов и нет изучения их физических свойств, как нет и для других форм богатых коллоидальными процессами морских вод.

Таковыми является, во-первых, грязевая (иловая) морская вода, проникающая грязи морского дна. Это вода, аналогичная почвенным водам, в главной своей массе в отличие от почвы являющаяся восстановительной средой. Она заключает в коллоидальном растворе многочисленные органические вещества, и в ряде случаев в ней выделяются гели химического и биохимического происхождения, среди которых имеет повидимому большое распространение серпистое железо.

167. Другую форму тех же зелей и гелей представляет та морская пена, которая и по своей форме и по своему составу составляет своеобразную форму природной воды и в общем ходе геохимических явлений не может быть оставлена без внимания.

Теоретически неизбежное значение этих образований не установлено эмпирическими наблюдениями. То многое, что нам известно, указано ниже.

Здесь же необходимо отметить, что в природной водной пене одновременно идут два процесса: с одной стороны, газовая эмульсия водного раствора, богатого солями жирных кислот (мылами) и, во-вторых, эмульсия жиров в воде и обладающие кислым характером суспензии (например, частички кварца (песок), углистых веществ и т. п.). Эти эмульсии и нечистоты сливаются; „грязь“ собирается в пене.

В природе эти явления производятся жизнью; остатками их являются и углистые вещества, и жиры, и жирные кислоты.

Мы можем пока только догадываться о значении этих явлений в природных процессах генезиса минералов и искать их проявлений. То огромное значение, которое они приобрели за последнее десятилетие в рудной технике, явно указывает на существование пропущенных научной мыслью природных их проявлений.

168. От водных природных золей есть все переходы к тонким механическим структурам аналогичного характера, которые представляют обычное загрязнение всякой природной воды. Обычно эти мути не меняют химических свойств воды — однако, как мы знаем, их присутствие играет огромную роль в истории поверхности планеты и отражается в грандиозных геологических явлениях. Этим путем сносятся континенты, образуются осадочные породы, создается морская грязь, поддерживается жизнь организмов, например, диатомовых, морского планктона (Меррей, 1890).

В тех случаях, когда частицы мути (суспензий) достигают большой тонины (порядок  $10^{-4}$  —  $10^{-5}$  см и меньше), свойства таких механических мутей становятся неотличимыми от свойства золей, а когда количество частиц по сравнению с водой становится большим, — мы имеем переходы к гелям.

Есть участки океана — главным образом его моря, омывающие континенты, — где мути и золи, происходящие от разрушения суши, играют особую роль и вызывают, в частности, скопления жизни, принося ей в огромном количестве питательные вещества,

169. Для суши характерны гели.

В этой форме почти твердых и полутвердых, студенистых и полужидких тел собирается в коре выветривания на суше огромное количество воды.

Существование этих тел является характерным свойством наружной оболочки земной коры — биосферы.

Гели покрывают всю поверхность нашей планеты почти непрерывным покровом, так как они составляют основную часть соленых и пресных грязей и наземных почв, проникают подпочвы. Им отвечающие образования мы имеем в болотах, торфяниках, верхних частях разнообразных осадочных и частью выветрившихся горных пород. Они являются характерными продуктами поверхностного выветривания и должны находиться в генетической связи с подпочвенными растворами.

На поверхности биосферы они отсутствуют только в снежных приполярных и горных участках, в песчаных и щебневых пустынях.

Для этих гелей мы имеем все переходы, начиная от полужидких, студенистых масс и кончая совершенно твердыми телами, в которых вода является все менее преобладающей частью. В конце концов она сходит на нет и приобретает свойства воды пленчато капиллярной (§ 11) или химически связанной.

Тело коллоидальное переходит в тело твердое аморфное, в свою очередь переходящее с ходом времени, при колебании температуры и давления той среды, в которой оно находится, в тело кристаллическое. Иногда кристаллизация идет непосредственно из геля (§ 159).

По мере того, как эти коллоидальные и аморфные тела, вследствие тектонических смещений в ходе геологического времени, выходят из

биосферы и попадают в более глубокие слои, с увеличением давления или может быть просто под влиянием геологически длительного времени (старение — § 159),—они неизбежно превращаются в тела кристаллические.

В осадочных породах, особенно геологически новых, мы еще наблюдаем коллоды и аморфные тела, богатые водой, в нижних же слоях и в еще ниже лежащей метаморфической геосфере — они уже перешли в кристаллические образования.

Еще ниже при дальнейшем метаморфизме они теряют воду и переходят в кристаллы безводные или бедные водой.

170. От этих коллоидальных образований, связанных с поверхностными водами, должны быть отличаемы богатые водою стекла, образующиеся при быстром застывании вблизи от земной поверхности вулканических магм, богатых водой, поднявшихся снизу (§ 161). Эти стекла не могут быть вполне отождествляемы с коллоидами и являются особой формой твердого состояния материи, аналогичного аморфным телам.

Количество воды в таких вулканических стеклах достигает 25%, обычно меньше.

С ходом геологического времени и при перемещениях в более глубокие слои эти стекла также перекристаллизуются, как гели, и при дальнейшем ходе времени и давлении обедняются водой или совсем ее теряют.

Если подтвердится представление, высказанное впервые Дэли, о нахождении стекловатой силикатовой оболочки в ювенильных областях, в области больших давлений, — эти основные и, может быть, кислые стекла неизбежно должны заключать воду. В таком случае этот тип воды, близкой к коллоидальной, окажется чрезвычайно распространенным и важным в строении нашей планеты для нижних геосфер ее земной коры.

### 3. Волосные природные воды и пленки поверхностного натяжения

171. Другой формой проявления тех же частичных сил является поверхностное натяжение природных вод, играющее очень большую роль в процессах земной коры. Обычно учитывая его в частности, мы не охватываем его в научной работе целиком.

Можно выделить в истории воды две формы этих явлений. Во-первых, поверхностные пленки и, во-вторых, волосные формы нахождения воды.

В поверхностных пленках мы встречаемся со сложными явлениями, частично выводящими нас из области явлений, свойственных растворам, и приводящим к явлениям, которые Ф. Ринне были выделены недавно в область паракристаллических явлений, — в частности к закономерному распределению на поверхности воды молекул жидких тел, чуждых ей и с нею не смешивающихся. Эти явления резко выражены иногда в поверхностных пленках жидких масс в тех случаях, когда мы имеем дело с однородными нерастворимыми в воде телами. Таковы, например, жирные пленки, столь часто наблюдаемые на поверхности природных вод: в них собираются жирные кислоты и их соли, при чем они располагаются на поверхности воды, под влиянием ее и своих частичных сил, слоем в одну молекулу толщиной, при чем все молекулы жирных кислот и их солей расположены так, что длинные векторы молекул становятся перпендикулярно к границе между жидкими жирными кислотами (и их солями) и жидкой водой. Эти представления, впервые введенные И. Лангмюиром (1917) и независимо Б. Гаркинсом (тогда же), сейчас подтверждаются многочисленными фактами и вызывают новые проблемы. Пленки эти не проникают в природные растворы, не дают с водою раствора, а собираются на ее поверхности, и их правильное закономерное на ней распределение является аналогичным правильно ориентированному

выделению кристаллов на кристалле другого вещества при кристаллизации.

Этот случай жирных пленок на водной поверхности является предельным случаем взаимодействия тел с водой, в котором резко проявляются свойства стороннего воде тела, но и молекулы воды на месте соприкосновения не остаются инертными; такое распределение молекул жирных пленок возможно только потому, что сами молекулы жидкой воды, — ее поверхностной пленки — обладают особым геометрическим характером, — биполярны, как говорят. Я вернусь к этому строению во второй части книги.

Для природных вод, которые являются растворами, т. е. помимо молекул воды содержат сторонние  $H_2O$  молекулы, образование этих пленок может сильно отражаться на свойствах и на характере раствора. Это проявляется главным образом в тех местах и в тех случаях, когда области частичных сил захватывают значительную массу воды.

172. От паракристаллических пленок жидкостей надо отличать обычную пленку на поверхности всякого водного раствора; она по химическому составу отличается от массы раствора: при отрицательной абсорпции она менее солена, при положительной — концентрация ее больше.

Чем больше концентрация раствора, тем резче может быть различие между химическим составом самого раствора и его поверхностной пленки.

Подобно капиллярам и поверхностные пленки всегда очень тонки; их поперечный размер исчисляется немногими слоями молекул (т. е.  $n \times 10^{-8}$  см), доходя до сотен молекул ( $n \times 10^{-6}$  см). Даже в тонких пленках большей мощности поперечника мицелл ( $n \times 10^{-5}$  —  $n \times 10^{-4}$  см) водяной раствор явно проявляет необычные для жидкости свойства.

Эти особые формы жидкой воды проявляются как в виде незримой глазу наружной части водной массы, так и микроскопически являются „пленкой“, например, в капиллярах, пене, тонком слое, покрывающем чуждые воде твердые тела, мощностью  $10^{-8}$  —  $10^{-4}$  см.

В областях скопления рыхлых масс, в почвах, в грязях, в илах, в осадочных породах, проникнутых водою (пластовые подземные воды стратисферы), повидимому огромные массы воды охвачены этой формой проявления частичных сил. Их неправильно называют почвоведы и гидрологи пленочными водами. Это пленочные растворы. Здесь спор не о словах, так как выводы из свойств пленочных „вод“ не всегда совпадают с свойствами пленочных „растворов“.

173. В земных условиях, в которых точки перехода воды из одного физического состояния в другое очень близки, поверхностные пленки можно рассматривать как плоскость разграиичия равновесия:

жидкая вода  $\longleftrightarrow$  водяной пар,

находящуюся в динамическом равновесии.

Пленки неизбежно образуются на всякой водной массе на месте ее соприкосновения с воздухом. Поверхность всемирного океана представляет такую единую постоянно существующую пленку. Чрезвычайно характерным и малоизученным является состав этой океанической пленки и производимые ею эффекты. В пленке собираются посторонние воде вещества и в частности органические соединения, в том числе производные жирных кислот — продуктов жизни, вызывающих указанные раньше (§ 171) структуры. Здесь собирается пыль, распределяются особые мельчайшие организмы, своеобразная жизнь, усиливающая и определяющая миграцию химических элементов.

Эти явления не менее, если не более интенсивно выражены на поверхности водоемов суши. Здесь они вызывают иногда и особые явления.

В природных рассолах в такие пленки из воздуха попадают зародыши кристаллов, и обычно с них начинается кристаллизация самосадочных озер.

Образование морской, речной, озерной пены тесно связано с пленками поверхностного натяжения и является следствием движения воды. На место собравшейся в пенистую массу поверхностной пленки немедленно образуется на поверхности воды новая.

В пленках при замерзании начинается выделение кристаллов льда, и в стоячих бассейнах, например, озерах ясно можно проследить, что эти кристаллы правильно располагаются к поверхности пленки — вертикальные оси их перпендикулярны поверхности (оси  $L^3$ ).

174. Мы уже видели то значение, которое имеют частичные силы воды на границе ее соприкосновения с твердым состоянием материи. Немедленно образуются при этом своеобразные равновесия:

воды  $\rightleftharpoons$  твердые тела,

и вода расслаивается на разные области (§ 11).

Здесь надо к раньше сказанному сделать еще несколько замечаний.

Значительная часть почвенных растворов состоит не из капельножидких сгущений воды, а из пленок, обволакивающих рыхлые элементы — песчинки и т. п. — или перекинутые между ними. Движение таких вод отвечает такой структуре и подчиняется особым законам, отличным от капельножидкой воды.

То же явление наблюдается и для больших масс подземных вод биосферы и стратисферы. Они под давлением проникают насквозь рыхлые породы и не могут быть рассматриваемы, как капельножидкие массы.

Характер газовых растворов в таких пленках неясен — отсутствуют опытные исследования, но очевидно все свойства таких скоплений воды должны отвечать поверхностным натяжениям, и на них нельзя без поправок, иногда очень основных, переносить выводы, полученные изучением капельножидких масс.

Уже здесь и в почвах проявляются и другие свойства поверхностного натяжения — свойства волосные в собственном смысле, движения воды в узких пространствах.

Природные воды — это природные растворы, но строение и свойства этих водных растворов различны в тех расслоениях, какие образуются в твердой среде, проникнутой водою. Слои воды гигроскопической (§ 11), обволакивающей частицы твердого тела, капельножидкой и пленочной в одной и той же массе воды должны быть физически и химически различны.

Учитывая это положение, как эмпирическое обобщение, — нельзя однако сейчас дать ему точное количественное выражение.

Вода пленочная и гигроскопическая при уменьшении размеров твердых частиц, рассеянных в воде (§ 204), переходит в воду — раствор — коллоидальную с новыми свойствами.

175. Нет ни одного земного твердого тела в биосфере и в стратисфере, повидимому и в метаморфической земной оболочке, которое не содержало бы волосной воды. Для метаморфической оболочки несомненно, что застывшие в ней массивные породы, а также образовавшиеся в ней контактные, жильные и пегматитовые минералы содержат воду в волосных состояниях вероятно первичную. Кажется не противоречащей фактам выходящая за их пределы гипотеза, что все твердое вещество верхней части нашей планеты проникнуто насквозь волосной водой. Можно рассматривать каждый кусок земного твердого вещества, как губчатую массу, чрезвычайно тонкие стенки которой состоят из волосной воды, а в „пустотах“ губки находится твердое вещество. Губчатая масса чрезвычайно тонка, — ее стенки незримы



невооруженному глазу, и вещество, ею охваченное, несмотря на неоднородность, кажется однородным при обычной точной методике микроскопического опробования. Лишь особыми приемами в редких случаях проявлялось микроскопически такое строение

Вода находится в мельчайших пустотах и трещинах, невидных глазу. В горных породах такие трещины могут занимать до 50% по объему; в гранитах 0,2—0,5%, в плотных известняках 0,55% (по Ван Гайзу). Ван Гайз различает капиллярные пустоты  $5,08 \times 10^{-2}$ — $1,0 \times 10^{-5}$  см и субкапиллярные, размерами от  $1,0 \times 10^{-5}$ — $2,0 \times 10^{-5}$  см.

Учитывая, что в подавляющих по весу массах твердого земного вещества, например, в массивных породах, весовое процентное содержание воды, уходящей ниже 105—110° С, равняется 0,1—3,5% и даже больше (до 8% по Ван-Гайзу), — можно получить ясное представление о масштабе явления. Эти числа дают понятие только о минимальном его пределе, ибо волосная вода обычно удаляется выше 110° С и, например, для кварцевого песка такая вода (пленочная) в последних следах уходит при 500° С. Масса волосной воды сравнима по меньшей мере с массой воды океана. При 1% ее в массивных породах мы получаем числа порядка  $10^{23}$  грамм (вес морской воды —  $1,4 \cdot 10^{24}$  г).

176. Такой характер земного твердого вещества, выделяющегося в крупных массах или в ничтожных мелких неделимых, объясняется частью его происхождением, частью исключительным положением воды в земной коре, частью физико-географическими и геологическими условиями его существования. Именно в результате этого получается явление, напоминающее радиоактивность земного вещества. Все твердое вещество проникнуто радием, все радиоактивно, и все оно содержит волосную воду.

Эта волосная вода обычно учитывается в анализах как гигроскопическая, химически чистая вода, что очевидно неправильно. Она должна отвечать природным растворам, в виде которых находится в той среде, в которой существует или образуется твердое земное вещество. В форме волосной воды должны наблюдаться рассолы, соленые и пресные воды, воды разных подклассов, т.е. разного газового состава. К сожалению сейчас нет ни одного анализа волосных вод. Задача не разрешена даже методологически; неизвестно, как отличить водную вытяжку волосной воды от растворяющего действия воды, вытягивающей волосную воду, на твердый минерал или породу.

Химический состав волосной природной воды обуславливается: 1) составом той маточной, первичной воды, в которой шло выделение данного твердого тела, 2) составом той природной воды, которая с ходом времени или в момент образования земного твердого тела в него проникла, и наконец в 3) теми изменениями, которые произошли в этой воде с течением времени или в момент образования твердого тела в связи с действием поверхностных натяжений или же под влиянием воды окружающей твердое тело внешней среды.

Изучение остаточной, „первичной“, волосной воды должно дать важные указания для истории воды; но область этих явлений научно почти не затронута.

177. „Первичная“ волосная вода не единственная.

Волосная вода в значительной части поверхностных частей пород, в рыхлых породах и т. п. подвергается дальнейшим изменениям под влиянием воды окружающей ее среды. На месте соприкосновения твердого вещества с газообразной или водной средой должно идти проникновение всего тела новой водой или новыми газами и изменение первичного волосного раствора.

Это проникновение вод, не связанных с генезисом твердого тела, идет в огромном масштабе всюду в биосфере, в стратисфере и глубже, где только происходят какие бы то ни было механические и термические, а частью и химические изменения, связанные с образованием пустот, трещин, изменений объема. С ходом геологического времени этот процесс идет всюду, и именно он вызывает проникновение волосной водой всякого земного твердого тела.

Несомненно, но совершенно не исследовано то, что уже внутри твердого тела должно происходить новое химическое изменение волосной воды под влиянием частичных сил. Может быть в связи с этим происходит выпадение из раствора части „растворенных в воде“ соединений, как это мы видим на земной поверхности (например, в солонцах). Но об этих больших процессах мы почти ничего не знаем.

Однако уже давно известны опыты (Ф. Гоппельсредера и др.), приведшие даже к новым приемам качественного анализа, которые указывают, что, входя в капилляры, раствор меняет свой состав, нередко очень резко. Это явление должно играть огромную роль в природе как в составе почвенных вод, так и волосных вод горных пород. Его выяснение есть задача дня. Опыты Б. Б. Полюнова и его помощников (Б. И. Филофова и др.) устанавливают это явление для почв в условиях, близких к природным.

Это все процессы, играющие значительную роль при метаморфизме, которые начинают уже проявляться в стратисфере; они получают перво-степенное значение в метаморфической области.

Вся область явлений, связанных с волосной водой, почти не охвачена действенной научной мыслью и только что начинает подвергаться исследованию и выдвигать научные проблемы.

178. Все же необходимо уже сейчас выделить некоторые из вод, находящихся в этом состоянии или с ним связанных. В осадочных породах в стратисфере находится, нередко может быть, вода, которая получила у геологов название ископаемой морской воды. Она осталась в осадочной породе со времени ее грязевого выделения на дне бассейна морского, океанического, реже пресноводного или соленого бассейна суши.

Обычно эту „ископаемую“ воду сравнивают химически с водой того бассейна, откуда она может происходить.

Такое сравнение неверно.

Эта вода не является водой того бассейна, из которого отлагались осадочные, например, морские осадки, а является переработанной диагенезом (метаморфизмом) грязевой (иловой), может быть, донной водой тех грязей (илов), которые превратились позже в осадочные породы. Но, к сожалению, полных анализов грязевой и донной воды даже современных бассейнов не имеется, нечего и говорить об ископаемой воде тех же донных образований.

Это — одна из важных доступных задач, стоящих на очереди: анализ современных, особенно морских, грязевых вод и „вод ископаемых“ и их сравнение.

179. Другим типом волосных вод является волосная вода, получаемая при замерзании растворов. Здесь мы имеем как бы второй случай равновесия двух фаз воды. Пленка, поверхностного натяжения отвечает равновесию:

жидкая вода  $\rightleftharpoons$  водяной пар,

при чем она неизбежно будет образовываться и для химически чистой воды и для раствора.

Волосные воды при равновесии:

водный жидкий раствор  $\rightleftharpoons$  лед

будут неизменно образовываться при замерзании природных растворов, при чем совершенно безразлично, будет ли то пресный или соленый раствор, который явится исходным.

В огромном большинстве случаев исходным является пресная вода.

Такая волосная вода (раствор) образуется в тех случаях, когда она остается внутри масс льда, образовавшегося при замерзании. При застывании лед очищается, и в остающемся маточном растворе (волосном) концентрируется часть компонентов, которые были в водном растворе. Они остаются в жидком состоянии — в соляном растворе — при температуре замерзания льда, ибо точка замерзания концентрированных растворов ниже точки замерзания чистой воды.

Недавно Г. Тамманн (1928) показал, что таково строение глетчерного льда. Каждое его зерно обволочено волосной пленкой водного раствора — эвтектического раствора, образовавшегося из пресной дождевой воды, обладающего очень низкой температурой замерзания (ниже  $-60^{\circ}\text{C}$ )

Очевидно другой вид таких же волосных вод другого химического состава должен образовываться при замерзании всякого льда.

180. Губчатая, пространственная сеть волосной воды, проникающей все твердое земное вещество, генетически связана еще с другим явлением, отражающимся в истории природных вод более глубоко, чем мы себе это представляем.

Очевидно раз только размеры волосных пустот трещин достигнут больших размеров, проникший в них раствор в некоторой своей части должен перейти в капельножидкое состояние, должно создаться равновесие молекулярно — и капиллярно-пленчатых и капельножидкой вод, о котором столько раз говорилось (§ 11).

В таком случае получаются жидкие (водные) включения в породах, которые во многих случаях проникают всю массу породы. Главная часть этих включений находится в распыленном состоянии, в виде незримых простому глазу микроскопических пор. Эти поры повидимому частью совершенно замкнуты, частью соединены с волосными трещинами попадают в губчатую волосную водную массу.

Значительная часть природных водных растворов находится в таком распыленном виде, — какая — мы не знаем. Те числа, которые приведены выше (§ 175), относятся одновременно как к воде волосных пустот, так и к воде включений.

Ниже мы встретимся с своеобразными типами некоторых водных включений, к сожалению, очень мало химически изученных.

## IV. Природные водные растворы

### 1. Общие данные

181. Так становится ясным, что природная жидкая вода не представляет инертной материальной среды.

Это среда активная. Она переполнена проявлениями свободной энергии.

Это мы видим и в воде, входящей в состав организмов, и в воде коллоидов. Это мы видим еще более сильно при проникновении всякой природной воды жизнью.

Но эта среда активна сама по себе. Активна химически чистая вода, ибо вода состоит из молекул разного рода. Позже я еще вернусь к этому явлению, сейчас же нужно только отметить, что вода дает молекулы разного состава от  $(\text{H}_2\text{O})^1$  до  $(\text{H}_2\text{O})^8$ ,<sup>1</sup> при чем повидимому в обычной воде преобладают молекулы  $(\text{H}_2\text{O})^3$ .

В зависимости от условий окружающей среды, от температуры и давления, например, количество разных молекул меняется, — чистая химически вода является физической смесью, дающей динамические подвижные равновесия.

Сложность молекул воды сказывается и при переходе ее в твердое состояние. Ячейка кристаллической сетки воды состоит из  $(\text{H}_2\text{O})^4$ .

Вероятно в связи с этой сложностью молекулярного строения воды, с ее физической неоднородностью, в ней развиваются явления — силы, к которым мы можем подойти, изучая электрические свойства воды. И в химически чистой воде мы должны допустить существование электрической диссоциации, непрерывное распадение некоторых — определенного числа — ее молекул на ионы  $\text{H}^+$  и  $\text{HO}^-$  и их воссоединение. И здесь существует особое динамическое равновесие.

182. Активный характер воды при термодинамических условиях земной коры сказывается прежде всего в разнообразнейших химических явлениях, с нею в земной коре связанных.

Как уже указывалось, эта химическая активность природных вод в биосфере в частности и во всей земной коре вообще приобретает огромное значение в нашей планете в виду распространенности в ней природных вод и большой их массы. Она ставит эту группу минералов в особое положение.

С химической точки зрения можно различить три рода химических явлений, вызываемых водой в окружающей среде, непрерывно происходящих в земной коре.

Это будут, во-первых, такие химические процессы, в которых физические свойства воды для полученных путем этих процессов тел остаются в основном неизменными. Лишь более тщательное изучение позволяет

<sup>1</sup> Весьма вероятны большие молекулы.

отличать так химически измененную воду от воды химически чистой — во всех ее фазах: твердой, капельножидкой и газообразной. Такие относительно слабые химические изменения воды мы называем растворами, при чем „растворы“ для разных фаз имеют разную структуру. Общее для всех них: 1) то, что в таких химических соединениях молекулярная структура воды не нарушается, что все ее свойства — физические и химические — преобладают в новом соединении, закономерно, сильно или слабо, меняясь в зависимости от входящих в воду новых элементов (и их комплексов или соединений) и 2) то, что отношения между молекулами воды и входящими в раствор другими элементами и молекулами не могут быть выражены стехиометрически. Это неопределенные химические соединения.

183. Другим химическим процессом являются такие изменения окружающей среды, в которых целые молекулы воды без разложения входят в твердые или жидкие сторонние тела.

Получаются соединения, принадлежащие к группе тел, которые удобно рассматривать как молекулярные соединения.

В данном случае мы имеем гидраты, явно химически очень различные тела (§ 309 сл.).

С интересующей нас точки зрения их удобно рассматривать вместе и говорить об их образовании в природе, как о процессе гидратации, подобно тому как для образования растворов мы говорим о растворении.

Гидратация есть процесс не менее мощный и обычный в земной коре, чем растворение.

Молекулы воды, образуя гидрат, могут давать с соединением, в которое они входят, стехиометрические числа и могут этого не давать. Эти последние тела иногда выделяют как растворы воды в твердом химическом соединении.

Для всех таких соединений характерно, что молекулы воды могут входить в гидраты и выходить из них в неизменном виде, не проявляя своих свойств, пока они находятся внутри гидрата. В гидрате связь между атомами Н, Н, О может быть иная, чем в молекулах воды, входящих в него при синтезе гидрата и выходящих из него при разложении гидрата. Я буду относить в эту группу химически разные тела — растворы воды в кристаллах или в аморфных телах и в гелях (например, вода в энстатитах —  $\text{MgSiO}_3 + \text{aq}$ ), кристаллизационную воду (например, в гипсе  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), гидратную воду (например, в гетите  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{HO})_2$ ), воду конституционную, например, в кислых солях (например, в диоптазе  $\text{CuH}_2\text{SiO}_4$ ), воду в боковой цепи алюмосиликатов (например, в клиноцоизите —  $3\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{Ca}[\text{OH}]_2$ ) и т. п. В химии планеты эти разнообразные формы соединений должны быть объединены, так как они являются результатом особых химических процессов, резко отделяющих их от растворов. Это отличие заключается в том, что вода гидратов явным для нас образом не разрушает те твердые сторонние соединения, с которыми она соединяется.

184. Наконец химическая реакция может вносить более глубокие изменения в молекулы воды. Она может быть связана с полным ее распадом, при чем вода вновь не восстанавливается при разрушении полученного с ее помощью тела. Атомы водорода и кислорода воды входят в разные соединения, и в дальнейшей геохимической их миграции судьба их будет иная. Таково, например, образование органических соединений фотосинтезом, зеленых растений при взаимодействии воды и углекислоты или образовании касситерита ( $\text{SnO}_2$ ) и  $\text{HF}$  при взаимодействии  $\text{SnF}_4$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Бесчислены эти процессы распада молекул воды при химических синтезах в химии планеты.

Как противовес этим явлениям разложения молекул воды в земной коре происходят многочисленные и разнообразные синтезы воды,

идущие как между свободными водородом и кислородом, так и путем распада сложны кислородных и водородных соединений.

Нередко эти процессы бывают очень сложны например, образование воды при процессах жизни, при „метаболизме“ в живом веществе или при его сгорании. Таковы же образования воды при взаимодействии горячих газов во время вулканических или магматических реакций, например, при взаимодействии  $H_2S$  и кислорода воздуха,  $CO_2$  и  $CO$  и водорода, и т. п. Такие реакции не менее обычны и одного или большего порядка по массе, чем выделение воды при биохимических процессах.

Так как все химические явления на нашей планете представляют устойчивые равновесия или ложные равновесия, одни и те же в ходе геологического времени, надо думать, что массы разлагающихся и создающихся молекул воды близки, отношение их равно или близко к единице. Ибо пока мы не можем заметить изменения массы вод в земной коре в ходе геологического времени.

185. Из всех этих процессов особое значение имеют в истории природных вод процессы растворения, так как почти все минералы группы воды являются растворами. Химически чистая вода есть на нашей планете редкое и временное тело (§ 561). Гидраты, образованные водой, входят не в группу воды, а в другие группы минералов.

Растворы в природной воде достигают сложности, нам недоступной в лаборатории, и только часть наблюдаемых в них явлений охвачена сейчас теоретической мыслью — может быть предвычислена.

Это всегда динамическое, подвижное, вечно меняющееся сложное равновесие.

Все изменения окружающей его среды в нем отражаются и его меняют. Но и сам раствор — сам по себе — меняет окружающую среду. Равновесия, на которые указывалось (§ 11 сл.): природная вода  $\rightleftharpoons$  природные газы, природная вода  $\rightleftharpoons$  природное твердое тело, природная вода  $\rightleftharpoons$  организмы, отнесенные к природным растворам, ясно указывают, что раствор, каким является природная вода, меняет и природные газы, и все твердое вещество земной коры, и живые существа.

В долгом ходе геологического времени все тела растворимы — этот старый афоризм весьма вероятно отвечает глубокому эмпирическому обобщению.

Старинное обобщение алхимиков — *Corpora non agunt nisi soluta*<sup>1</sup> — очень ярко и точно выражает основную черту химии земной коры.

186. Природные растворы во многом отличаются от тел того же типа, изучаемых в наших лабораториях. Они отличаются прежде всего сложностью своего состава. Более 50 химических элементов без сомнения находятся в морской воде в разных нижеуказанных формах. Не вызывает сейчас у многих натуралистов-эмпириков сомнения, что, в той или иной форме, в океане — особой геосфере планеты — мы найдем все химические элементы; может быть однако это и не так. В каждом виде природной воды мы подходим к тому же сложнейшему типу раствора. Так в независимой от океана, в значительной мере фреатической, воде минерального источника Виши, по мере лучшего исследования, количество входящих в нее элементов все увеличивается. Ж. Вилльм (1894) знал их 17, сейчас (А. Лозинский, 1927) их число доходит до 50. Вопрос в сущности идет лишь об улучшении методов исследования, улавливания следов химических элементов.

Преобладают в природных растворах однако немногие химические элементы.

Компоненты жидкие редки и имеют меньшее значение в природных растворах; наиболее разнообразны компоненты в свободном виде твердые,

<sup>1</sup> Тела не действуют, если не растворены.

Но главное значение надо придавать в природных водах компонентам газообразным.

Нет природной воды, которая не была бы насыщена газами той земной оболочки, в которой она находится и где она создавалась. Переходя из одной геосферы в другую, она немедленно воспринимает газы этой среды и ими насыщается, теряя старые, переходит в новую форму насыщения.

187. Природные водные растворы представляют сложные подвижные системы:

вода  $\rightleftharpoons$  газ,

при чем газ, их проникающий, связывает ее теснейшим образом с газовой средой, в которой вода находится, т. е. газ находится в состоянии насыщения.

Это равновесие зависит от температуры и давления и постоянно меняется в зависимости от их изменения в земной коре. Оно зависит и от той среды, в которой находится газ, и от того изменения окружающей водный раствор среды, которому подвергаются природные воды, и от химических свойств газа.

Мы должны здесь отличать: 1) изменения температуры, давления, газовой среды, которые происходят в воде, неподвижно находящейся в каком-нибудь месте в земной коре. Таковы, например, изменения, которым подвергаются поверхностные воды данного земного участка в течение годового цикла явлений; 2) изменения, которым подвергаются подвижные воды, меняющие свое положение в планете и переходящие из одной среды в другую, например, напорные пластовые воды или минеральные источники, поднимающиеся из глубоких частей земной коры в биосферу, большие реки и морские течения, протекающие разнородные страны, или ручьи и реки, падающие с высоких горных вершин в места более низкие, и т. п. и наконец 3) необходимо учитывать те изменения, которые могут испытывать в смысле давления или температуры с ходом времени в историческое или геологическое время минералы воды данного земного участка.

188. Амплитуда возможных колебаний очень велика для вод, достигающих биосферы, и посредственно доступных нашему изучению.

Беря только средние числа, можно сказать, что температура колеблется от многих сотен градусов для вод вулканических пород, от  $150^{\circ}$  для гейзерных паров, выше  $100^{\circ}$  для жидких рассолов—до  $-30^{\circ}$  еще несколько ниже для рассольных вод биосферы, до  $-70^{\circ}$  для волосных вод. В биосфере амплитуда колебаний достигает  $100^{\circ}$  (от  $+50^{\circ}$  до  $-50^{\circ}$ ) даже для нормальных и обычных ее явлений.

Давление колеблется от десятых долей атмосферы до нескольких сотен, может быть тысяч атмосфер (например, во включениях).

В биосфере на высотах, равных  $5\frac{1}{2}$  километрам (высоких горных цепей и высоких горных плато), количество газов уменьшается вдвое, еще больше оно уменьшается в водных растворах, температура которых превышает  $50^{\circ}$ , и чем она ближе к температуре кипения чистой воды, тем быстрее исчезают газы из водного раствора.

189. Еще одно явление должно резко отражаться на составе газов растворенных в природных водах: их отсутствие и их количество в окружающей природные воды газовой среде (газовой атмосфере). Их отсутствие в ней заставляет газы уходить из водного раствора—распределяться между газовой средой и природной водой, чрезвычайно уменьшаясь в последней.

В биосферу наконец проникают воды фреатические в вулканических явлениях, в минеральных источниках, в буровых скважинах, в гейзерах и сопках. Давление, в котором в них находились газы,—другое, темпера-

тура — также, и газовая среда (подземная атмосфера) не заключала кислорода, а иногда была богата углеводородами, сероводородом и т. п.

Попав в условия биосферы, газовый режим этих вод быстро меняется, вызывая в местах выхода многообразные изменения среды — в частности поглощение из воздуха кислорода, иногда азота и углекислоты, выделение в воздух углекислоты, иногда азота и метана, окисление сероводорода и т. п.

190. Несмотря на такую подвижность газовых компонентов природных вод, здесь есть довольно прочная точка опоры (§ 227 сл.).

Состояние насыщения в условиях биосферы и ближайших к ней геосфер, в частности стратисферы, выражается в своеобразном признаке газовых компонентов — в постоянстве порядка веса газов, находящихся в природном водном растворе.

Количество газов, растворенных в природной воде, каков бы ни был их состав, равняется  $n \times 10^{-3} \%$  по весу воды. Меньше этого порядка коэффициенты для газов (взятых в целом) не бывают; больше — наблюдаются только для углекислоты в некоторых минеральных источниках и напорных пластовых водах, богатых двууглекислыми соединениями; в первые моменты выхода в биосферу процент  $\text{CO}_2$  достигает в них до  $n \times 10^{-1} \%$ , быстро сглаживаясь до  $n \times 10^{-3} \%$  при установлении нового равновесия.

К сожалению отсутствие достаточного числа анализов газов, растворенных в природных водах, не позволяет углубляться (с непрекаемой точностью, что вполне возможно) в анализ этого явления.

191. В биосфере иной характер вод, идущих из глубоких фреатических областей, выражается часто в том, что эти воды газируют, выделяют газы, находившиеся в растворе под большим давлением и в биосфере попавшие в наши условия. Газы выделяются непрерывно — соединения двууглекислые и двусероводородные распадаются. Выделяются  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ .

При приближении к земной поверхности, стремясь к равновесию в форме насыщения, избыток растворенных газов (например, для азота) выделяется, давая газированные азотом природные воды.

Но это только пока возможное объяснение свободно выделяющихся газов из природных вод. Возможно, что часто мы имеем здесь дело с другим явлением, — с независимыми от воды газовыми струями, одновременно в том же самом месте выходящими на земную поверхность.

Возможно, что оба явления сосуществуют.

Решить вопрос можно только систематическим количественным изучением газовых компонентов природных вод.

192. Пока что, можно считать, что весовой процентный порядок растворенных газов в природных водах остается неизменным и равен  $10^{-3} \%$  вблизи земной поверхности — в биосфере.

В стратисфере он иногда достигает до  $10^{-1} \%$  для углекислоты, но не превышает порядка  $n \times 10^{-3} \%$  для других газов. Для вод больших высот (верхних пределов биосферы) он, может быть, спускается иногда до  $n \times 10^{-4} \%$  по весу ( $n$  — большое число). Анализов к сожалению нет.

В областях высокого давления за пределами верхней стратисферы предел насыщения снижается высокой температурой (см. § 226).

Интервал колебаний массы газовых компонентов не велик — не сравним с другими компонентами водных растворов, где колебания достигают сотен, тысяч и даже сотен тысяч раз.

Точное выражение содержания газов в весовых процентах является сейчас одной из насущнейших научных задач, обещающих важные результаты. Необходимо поставить исследование систематически.

193. Уже одно постоянное нахождение в природных водах газов, могущественно влияющих на ее свойства, не позволяет переносить — без



больших поправок — на природные водные растворы данные наших лабораторий.

Значение газов в природных водах видно уже из того, что только благодаря их нахождению в природной воде возможно в ней развитие жизни, которая, как указано и как мы увидим, самым коренным образом меняет весь химический режим природных вод.

К той же осторожности при перенесении (без поправок) выводов лабораторий — всегда упрощенных и неполных — в природное явление призывают и другие соображения. В лаборатории изучаются только простые случаи для немногих одновременно находящихся в физически чистой воде компонентов. Природная вода содержит десятки химически разных компонентов, пропитана газами, жизнью, содержит коллоиды и т. п. (§ 203).

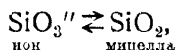
Мы знаем, что характер раствора меняется не только в зависимости от его концентрации и термодинамического поля его нахождения, но и от одновременного присутствия в нем других тел, находящихся вместе с данным в растворе.

194. Этим вызывается, например, возможность проявления в природной воде таких комплексов атомов, которые не существуют для чистых растворов химии. Так, едва ли может быть сомнение, что в обычном термодинамическом поле химически чистой воды,  $\text{SiO}_2$  — кремнезем — вполне не растворим, и его растворы, легко получаемые, представляют в действительности золи; ионы  $\text{SiO}_3''$  в них не существуют. В наших лабораториях их существование доказано лишь недавно в строго определенных, трудно осуществимых и в природе не существующих условиях (Р. Шварц и его помощники, 1927). Многочисленные сделанные раньше опыты и наблюдения Г. Ле-Шателье и других позже него работавших ученых указывали на полную нерастворимость кремнекислоты в воде в обычных условиях.

В природной воде как будто бы надо было бы ожидать отсутствия ионов  $\text{SiO}_3''$  и присутствия мицелл  $\text{SiO}_2$ .

И действительно, во многих случаях, нацело или отчасти, такое строение всюду находящихся в природных водах атомов кремния кажется несомненным. Однако на ряду с этим нередко (например, в реках) можно было с такой же несомненностью констатировать нахождение в них ионов  $\text{SiO}_3''$  (Диэнер); эти группировки могут существовать в воде в присутствии в ней ионов металлов (Na, Ca, Mg и др.), отсутствующих в чистых кремневых золях лабораторий. Вырешить характер находящихся в природной воде форм комплексов кремния мы большей частью не можем; но переносить на нее без поправки выводы лабораторных опытов тоже нельзя. В природных водах существуют оба случая — иногда одновременно. В лаборатории же — в химически чистой воде — ионы  $\text{SiO}_3''$  неустойчивы в термодинамическом поле, отвечающем биосфере.

195. Все заставляет думать, что природная вода всегда является смесью обычного раствора и слабого, разведенного золя. Границы между электролитическими растворами и слабыми золями в природной воде исчезают — существуют между ними все переходы, тем более, что и для мицелл, в них входящих, необходимо признать их „ионизацию“ — они электрически заряжены (§ 156). Все как будто указывает на то, что в природных растворах существует равновесие:



отсутствующее в чистых опытах наших лабораторий.

Природная вода является золем, если она рассматривается с точки зрения одного химического компонента, электролитическим раствором, если изучается на другом химическом компоненте. Для кремния же оба эти явления имеют место одновременно.

Повидимому значительная часть „органических веществ“ природной воды находится в коллоидальном растворе. Однако для части из них мы имеем дело с раствором в воде жидких органических соединений, и провести границу между ними мы пока тоже не умеем.

Такие жидкие органические тела, может быть, образующие и электролитические растворы и коллоидальные эмульсии, — постоянно выделяются водными организмами. Они мало изучены.

196. Невозможность применения — без больших поправок — обычных физико-химических представлений о растворах существует и для другого рода явлений природной воды — явлений, касающихся очень разведенных компонентов.

Неясно, можно ли всегда сводить их к ионам обычного характера. Ибо образование иона связано с разложением составленного из них нейтрального соединения. Мы имеем в нейтральном растворе всегда присутствие пары ионов — положительного и отрицательного.

Но в земном веществе существуют случаи, когда едва ли химические элементы находятся в форме соединений с другими. Таковы, например, вновь образованные элементы радиоактивного распада или иод, — вообще все рассеянные химические элементы, присутствие которых открывается в каждом земном веществе, подвергаемом точному изучению.

Мы их находим и в воде.

Мы не знаем состояния таких рассеянных тел, — повидимому они находятся в состоянии свободных атомов; ничто не указывает, что они обладают свободным положительным или отрицательным зарядом (ср. § 259 для иода).<sup>1</sup>

Значение этих „следов“ элементов в водных растворах может быть еще больше, так как возможно, что значительная часть рассеянных элементов в твердом земном веществе находится в нем в водном растворе — в волосных, проникающих его водах.

Удобнее поэтому, так как мы не знаем, где кончается электролитический распад на ионы, и где начинается рассеянный свободный атом для разведенных водных растворов, говорить о равновесии:

природная вода  $\rightleftharpoons$  атомы,

а не об электролитическом равновесии:

природная вода  $\rightleftharpoons$  ионные компоненты.

197. В обычных случаях — кроме рассеянных элементов — является сейчас удобным однако опираться на теорию диэлектрической диссоциации водных растворов и принимать как удобную модель для толкования природного явления существование в природных водах разнородно электрически заряженных осколков молекул, т. е. ионов.

Хотя причина такой диссоциации растворов теорией не предусматривается, и попытки ее объяснения едва ли могут считаться удачными, — все же огромная масса научных фактов, которые удобно входят в кадры теории диэлектрической диссоциации растворов, позволяет нам считаться, как с научным постулатом, с существованием диэлектрической диссоциации.

Для природных растворов отсюда следует вывод большого значения, вполне укладывающийся в научно установленные явления, об особом состоянии атомов кислорода в природных растворах, которым мы — согласно теории диэлектрической диссоциации — объясняем существование отрицательно заряженных комплексных ионов  $\text{SO}_4''$ ,  $\text{PO}_4'''$ ,  $\text{HCO}_3'$ ,  $\text{HO}'$  и т. п. Существование особого состояния подвижных атомов кислорода в природных водах есть факт. Прямо измерить этот кислород мы не умеем.

<sup>1</sup> Выявление существования нейтронов (1920—1932) может дать ключ к решению вопроса о форме нахождения в растворах элементов в состоянии рассеяния.

Теория диэлектрической диссоциации дает удобный способ это выразить и охватить без противоречия огромное количество научных наблюдений.

Опираясь на теорию диэлектрической диссоциации, я не буду здесь касаться тех новых изменений, которые в нее вносятся в последнее время и которые, может быть, приведут к коренному изменению наших представлений.

Для изучаемых явлений — природных водных растворов — они пока не дают никаких новых наведений.

Оставлю поэтому в стороне и допускаемую идущую до конца нацело диссоциацию (вернее в таком случае разложение) соединений на ионы и буду считать, что диссоциация в условиях природных растворов не идет до конца и уменьшается по мере увеличения концентрации раствора.

198. Диэлектрическая диссоциация выражена в природных водах очень резко, так что в господствующей массе — в пресных и в соленых водах — она дает очень удобную форму выражения природного явления.

Всякий природный раствор вначале во всяком случае начинается с слабого раствора, к которому вполне приложимы представления об ионизации.

Растворение твердых тел связано по нашим представлениям с гидролизом, т. е. с электролитическим разложением и растворителя (воды) и растворимого твердого тела.

И то и другое при соприкосновении дают заряженные разными зарядами ионы. Гидролиз и связанные с таким характером растворенных веществ химические процессы являются обычнейшим химическим явлением в химии земной коры.

Сама вода — растворитель — в природе всегда в небольшой мере электролитически разложена; из некоторого, небольшого, числа молекул образуются ионы  $H^+$  и  $HO^-$ . Те же ионы образуются и из других компонентов раствора, и потому определение массы этих ионов, которое может быть сделано очень точно, не дает ясного представления о разложении молекул воды растворителя. Особенно в природных водах имеют значение те явления, которые происходят при постоянно идущем растворении газообразной углекислоты; при этом образуются ионы  $H^+$  и  $HCO_3^-$  или  $2H^+$  и  $CO_3^{2-}$ . Уже по этому одному определение  $H^+$  в природных водах не дает ясного понятия о распаде молекул растворителя. Это разложение часто играет второстепенную роль в наблюдаемом явлении (например, в океанической воде — § 753 сл.).

Нахождение  $H^+$  (и  $HO^-$ ) в природных водах имеет огромное значение в динамике природных вод.

Очевидно, что диссоциация природных вод, имея резко определенные пределы, будет резко отличаться от диссоциации химически чистой воды ( $P_H = 5.8$  по A. Kling и A. Lassierre, 1930). Ее константа  $P_H$  почти всегда выше 7. Как величайшая редкость, встречаются воды, количество водородных ионов которых достигает пределов, не позволяющих существование в природных водах жизни.

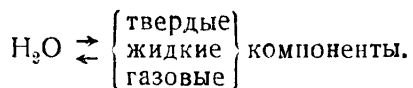
Едва ли можно сомневаться, что это сложилось исторически с ходом времени. Жизнь в своем неизбежном, с точки зрения законов сохранения энергии, захвате биосферы выработала формы, приспособленные ко всем земным величинам содержания ионов  $H^+$  в воде.

И едва ли можно сомневаться, что природные воды необычной концентрации ионов, сейчас безжизненные, захватятся жизнью, если протечет достаточное время и если они смогут сохранить такой  $P_H$  долгое время. Выработаются организмы, которые в них смогут жить и смогут их изменять.

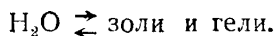
Сейчас жизнь, в тех или иных формах, может существовать в пределах вод от  $5 R_H$  до  $10 R_H$ , т. е. в таких растворах, в которых количество ионов  $H^+$  колеблется от  $10^{-6} \%$  до  $10^{-11} \%$  по весу.<sup>1</sup>

Эти пределы жизни в общем определяют существующие в биосфере пределы ионизации природных вод. Недоступные для жизни редкие богатые кислотами вулканические источники выходят за эти пределы.

199. При изучении природных водных растворов нельзя оставлять без внимания такие их составные части, которые хотя явно являются посторонними, делают растворы оптически неоднородными, но в то же время в природных условиях влияют на то равновесие, которому отвечает водный раствор, т. е.:



Мы уже прикли во внимание невидимые глазу составные части (грубо оптически однородную среду):



С той же точки зрения необходимо всегда принимать во внимание еще два рода компонентов: мути и мельчайшие живые существа.

Конечно не всякие механические примеси и не всякие организмы должны нами рассматриваться, как компоненты природных водных растворов.

Таковыми могут быть только тела мельчайших размеров, для которых существует одна важная особенность нахождения в водном растворе, которая, мне кажется, впервые была учтена в своем значении В. Гансеном (1881), когда он окончательно ввел в науку понятие о планктоне.

Эти взмученные тела и организмы должны удовлетворять одному определенному условию: и составные частицы взвешенных мутий и составные элементы живых веществ — живые организмы — по разным причинам всегда стремятся распределиться равномерно в природном растворе, охватить его весь, т. е. дать механически однородную среду.

Получается своеобразная физическая однородность, совершенно аналогичная распределению мицелл, ионов, газовых молекул. Это равномерное распределение зависит от размеров — и от движения молекул воды: мути и такие организмы обладают броуновым движением, т. е. связаны с молекулярным движением молекул среды (в данном случае воды), в которой они находятся.

Очевидно только такие тела могут сюда относиться, которые по размерам входят в поле молекулярных, а не гравитационных явлений: мути переходят, уменьшаясь в размерах, в золи, т. е. являются крупно дисперсными водными системами: организмы не должны обладать способностью к произвольным движениям, резко нарушающим проявление частичных сил.

200. Мути могут сделаться столь тонкими, что становятся невидимыми в микроскоп (приближаются к  $10^{-8}$  см диаметром), по видимому такого рода дисперсные системы должны образовывать проникающие воды биосферы углистые вещества, связанные с распадением мельчайших организмов, или радиоактивные „индукции“, постоянно и непрерывно образующиеся во всех природных водах распадением растворенных в них газо-

<sup>1</sup> Чистая пресная природная вода содержит  $1 \times 10^{-8}$  г ионов водорода в литре. Эту величину называют  $R_H$  и для чистой воды  $R_H = 7$ . Увеличение количества ионов водорода уменьшает  $R_H$  (кислые реакции), уменьшение количества ионов увеличивает  $R_H$  (щелочные реакции). Для крови  $R_H = 7,4$ . Слабо щелочная среда благоприятна жизни.

образных эманаций — радона, торона и актона — в конце концов переходящие в атомы свинца.

То же самое несомненно наблюдается и для микроорганизмов. Организмы, размеры которых меньше  $10^{-4}$  см диаметром, уже находятся в поле молекулярных сил; при дальнейшем уменьшении размеров — до величины  $2 \cdot 10^{-6}$  % несомненно микробы переходят в ультрамикробы; переполняя воду, в которой их присутствие доказано, они дают уже среду оптически однородную. Сюда относятся бактерии и ноннопланктон.

Размеры частиц мутей и неделимых живого вещества, которые мы принимаем, как компоненты природных растворов, отвечают порядкам  $10^{-3}$  см —  $10^{-6}$  см.

Большие частицы и организмы не входят в состав природной воды, но могут играть огромную роль в ее истории; таковы, например, мутные воды рек, сносящие и строящие сушу или зеленая растительность вод.<sup>1</sup>

201. Следующий пример природного явления может служить ярким указанием на необходимость и неизбежность принятия во внимание для истории природной воды и мутей и живого вещества, в ней находящихся.

В планктоне океана огромную роль в истории кремния играют диатомовые водоросли, покрывающие в определенное время площади в многие десятки тысяч километров. Источником кремния для них, как показал Д. Меррей, — кроме „раствора“ кремния в морской воде — является муть каолиновых частиц, из которой они извлекают кремний.

Часть кремния и большая часть алюминия при этом должна возвращаться назад в морскую воду — в форме ионов и мицелл.

Схема этого огромной важности явления в структуре морского раствора следующая:



На каждом шагу возможно убедиться, что муты и особенно живые организмы являются важнейшей составной частью того физико-химического равновесия, каким являются природные воды.

202. Аналогичными мутям должны полагаться и своеобразные газовые выделения, играющие нередко большую роль в природных условиях.

Это своеобразные пузырьчатые структуры — газовые эмульсии, нередко связанные с мутью и с организмами, в других случаях выделяющиеся при разложении ионов и т. п. Для них характерно, что, собираясь в конце концов в видимые глазом пузырьки, они очень часто начинаются в виде тончайших пузырьков, невидимых глазу, соизмеримых с мицеллами.

Этого рода газовые проникновения вод недостаточно изучены и теоретически и экспериментально.

203. Сводя все вышесказанное вместе, надо считать, что в природном водном растворе существуют одновременно, влияют на характер его динамического равновесия и должны быть учитываемы при его научном изучении следующие компоненты:

<sup>1</sup> Очень любопытны указания Э. Меркера (1931) на резкое и длительное — различное — изменение свойств вод (флюоресценции) при жизни и после жизни в них разных организмов и разных биосензов.

## Компоненты природных водных растворов <sup>1</sup>

### 1. Компоненты растворителя

- |                                       |   |  |
|---------------------------------------|---|--|
| $10^{-7}$ — $10^{-8}$ см<br>диаметром | { | 1. Разн. величины водные молекулы— $(\text{H}_2\text{O})^n$ , где $n = 1, 2, 3 \dots 16?$<br>2. Ионы воды . . . . . $\text{H}^+$ и $\text{HO}^-$ . |
|---------------------------------------|---|--|

### 2. Компоненты в водных молекулах или с ними неразрывно связанные

- |                                       |   |   |
|---------------------------------------|---|---|
| $10^{-7}$ — $10^{-8}$ см<br>диаметром | { | 3. Ионы твердых тел (электрич. заряженные).<br>4. Гидратные комплексы (электрич. заряженные?)<br>5. Молекулы жидкостей<br>6. Газовые компоненты<br>7. Молекулярные мицеллы? (электрич. заряженные?) |
|---------------------------------------|---|---|

### 3. Компоненты, непосредственно с водными молекулами не связанные

- |                                       |   |  |
|---------------------------------------|---|--|
| $10^{-8}$ см<br>диаметром             | { | 8. Свободные атомы рассеяния (электрич. заряженные?)<br>9. Атомы в состоянии распада   |
| $10^{-4}$ — $10^{-6}$ см<br>диаметром | { | 10. Мицеллы (электрич. заряженные)<br>11. Гидратные комплексы мицелл? (электрич. заряженные?)<br>12. Дисперсные мути твердых частиц<br>13. Дисперсные рассеяния микроорганизмов<br>14. Газовые эмульсии<br>15. Жидкие эмульсии (?) |

Для всего дальнейшего рассмотрения природных вод мы будем принимать во внимание главным образом компоненты 3, 4, 6, 10, но необходимо иметь в виду, что едва ли есть природная вода, свойства которой могли бы быть понятны, если не принимать во внимание всех остальных существующих в ней компонентов.

204. Природные водные растворы представляют динамические сложные равновесия, которые меняются с ходом времени; обычно они меняются чрезвычайно медленно.

Учитывая ход времени, можно считать их или ложными статическими равновесиями или равновесиями, не достигшими стационарного состояния.

Природные воды являются такими системами, все компоненты которых и молекулы самой воды находятся в вечном и непрерывном различном изменении,—но основной характер воды остается неподвижным.

Это дает возможность их точного научного исследования и числового выражения.

Иногда, как, например, для океанической воды (§ 744—745), такое постоянство достигает большого совершенства и вероятно выдерживается целые геологические периоды, а может быть в основном в течение всей геологической истории земли.

То же самое мы повидимому имеем и для главных вод других геосфер — для воды дождевой, речной, для озер, для гейзеров, для минеральных источников.

Точное определение этого неизменного среднего состояния вод, реально существующего в природе, является основной задачей изучения природных вод, и на нем построено все дальнейшее изложение.

<sup>1</sup> Этот список типов компонентов явно не полон и в дальнейшем будет увеличен. Уже сейчас один из непринятых во внимание типов намечается. Это атомы в разном магнитном состоянии—магнетоны. По опытам Г. Фэкса (G. Foex), А. Шатильона (A. Châtillon) и др. ионы  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Co}^{++}$  и аналогичные другие семейства железа в водных растворах могут находиться в различных магнитных состояниях. Числа магнетонов им отвечающие, — различны. В природных растворах это явление пока не отмечено.

<sup>2</sup> Встречаются вероятно не часто. Помимо нефтей должны существовать такие выделения в связи с распадом органических веществ.

В сущности это является логическим выводом из признания природных вод земными минералами.

Все минералы являются в итоге непрерывно существующими в геологическом времени, но вечно изменяющимися и восстанавливающимися телами; такими же телами являются и виды природных вод: они существуют в земной коре непрерывно, исчезая и возобновляясь в разных местностях.

205. Однако это верно только в общей картине явления и может считаться точно установленным только в первом приближении.

Мы не можем сейчас утверждать, что такие минеральные воды, как океаническая, речная, дождевая и т. п. воды, были химически неизменны в течение всех геологических периодов, хотя бы выраженные в виде тех предельных чисел, которыми мы в дальнейшем пользуемся. Можно только сейчас утверждать, что заметным образом таких изменений не констатировано. Для древних геологических периодов, для палеозоя, например, ряд ученых допускает значительные изменения состава поверхностных вод.

В общем однако состояние наших данных сейчас таково, что можно эти соображения оставлять в стороне без опасности столкнуться с противоречием известным фактам.

Это показывает, что проблема поставлена, но еще не вышла из стадии гипотез.

206. От этих предполагаемых изменений, возможность которых научно отрицать нельзя, надо отличать реальные, закономерные изменения во времени для некоторых определенных видов вод.

Многочисленные роды и семейства природных вод закономерно меняются с ходом времени, в конце концов прекращая свое существование, переходят в значительной части своего вещества в твердые минералы.

Эти процессы идут не только в историческом времени, но главным образом в пределах времени геологического.

В окружающей нас природе во множестве случаев мы наблюдаем длящийся процесс, начавшийся миллионы или сотни тысяч лет тому назад. Наши водоемы суши в огромном большинстве случаев существуют без перерыва с конца плейстоцена — сотни и десятки тысяч лет назад, очень большое число их — с начала третичной эпохи, многие идут далеко глубже. Мы не раз будем встречаться с этим явлением в дальнейшем изложении.

Особенно обычны и резко выражены эти явления для небольших и вообще для замкнутых водоемов. Пресные озера суши проходят совершенно определенные стадии своего развития, превращаясь с ходом времени или в соленые и рассольные озера или в болотные и торфяные воды (§291, 625). В конце концов они дают начало отложениям или разных солей или сапропелитов и торфов.

В этих и аналогичных процессах можно наблюдать и восстанавливать генетическую зависимость между разными видами природных вод.

Законности таких изменений пока мало обращали на себя научное внимание.

## 2. Основные компоненты классификационного значения для природных вод

207. Первой задачей научного изучения природных растворов является выделение их видов и разновидностей на основании указанных в § 203 их компонентов.

Для этой цели возможно упростить задачу и пользоваться для классификации лишь частью характерных для природных растворов компонентов.

Удобно выдвинуть две группы компонентов — газы и химически растворенные твердые тела — № 3 и 6 списка § 203.

Это удобно потому, что природные растворы являются прежде всего неоднородными системами равновесия, подчиняющимися всем законам таких систем. Это прежде всего системы химические — неопределенные химические соединения, находящиеся в динамическом равновесии.

Господствующими компонентами таких систем являются всегда в них присутствующие газы (§ 10) и твердые тела.

Кладя их в основу нашего рассмотрения, классифицируя по ним природные воды, можно легко объять всех их представителей. Как во всех случаях земных химических процессов из множества логически возможных случаев наблюдаются немногие. Химия земли — химия реально существующих природных соединений — бесконечно проще химии теоретической, которая в масштабе природной химии — включает бесчисленное количество потенциально возможных соединений.

Из многих миллионов логически возможных тел, отвечающих комбинациям 15—16 типов компонентов (§ 203), известно сейчас около 490 видов и типов; это число превысит 1000 (§ 353 сл.).

В основу нашего дальнейшего суждения мы кладем следующие явления — как параметры природных динамических равновесий, природных водных растворов. Мы изучаем изменения: 1) концентрации растворов, 2) проникающих их газовых компонентов и 3) химического состава и структуры их твердых компонентов, — так называемого солевого состава (ионы и гидратные комплексы).

208. В основу классификации должна быть поставлена концентрация вод, так как эта концентрация сразу приводит нас к основным чертам механизма природных вод в биосфере. В сущности только ее воды целиком доступны нашему изучению, для других нам доступны или в биосфере измененные их части или же мы заключаем о них на основании косвенных данных.

Основываясь на изучении явлений биосферы, мы заключаем о том, что происходит вне ее на основании их отражений в биосфере.

Другого пути нет для нас, и потому необходимо основываться в построении классификации на водах биосферы, главным образом, водах поверхностных.

Здесь концентрация вод выступает на первое место.

С точки зрения концентрации природных вод бросается в глаза: 1) широкое развитие, постоянное нахождение и образование в биосфере почти химически чистой воды — пресных вод,<sup>1</sup> и 2) существование в ней единого резко определенного солевого раствора — воды океанической, морской. Этот соленый раствор — его концентрация и состав солевой части — остается постоянным, несомненно, в историческом времени, и все указывает — во времени геологическом (§ 744). Этот соленый раствор охватывает больше половины (по весу) воды земной коры и связан с ее диссимметрией (§ 78 сл.).

Вся история природных вод определяется этими двумя основными явлениями.

Пресная вода в наибольшей своей части по весу сама является продуктом морской воды — результатом ее испарения.

Испарение воды на поверхности планеты, проникновение ее паров (пресных) в атмосферу, сгущение их там в жидкость, постоянное выделение парообразной воды в капельножидкое состояние и обратно — является основной чертой ее истории в биосфере и характеризует ее историю на суше, на которой только и может существовать пресная

---

<sup>1</sup> В более глубоких геосферах пресная вода отходит на задний план. Возможно, что в метаморфической оболочке ее нет вовсе. В ней и ниже, вероятно, уменьшается значение и соленой воды.



вода. Ибо, попадая из атмосферы при сгущении в жидкость в океан и моря, пресная вода переходит в обычный соленый раствор океана.

Но пресная вода, господствующая всецело в тропосфере, на суше может существовать только недолго и проникать в нее неглубоко. Она постепенно и немедленно растворяет окружающее ее вещество, меняется жизнью. На небольшой глубине — а иногда и на поверхности — она встречается с солеными водами, которые в большой своей массе, в значительной мере генетически закономерно связаны с измененными морскими водами (донными и грязевыми).

Не говоря уже о богатых солевыми частицами, а временами и о соленых почвенных растворах, значение которых в истории природных вод огромно (§ 608, 669) и которые являются созданием жизни, — измененные соленые морские воды охватывают всю сушу на небольшой уже глубине. Осадочные породы, стратисфера, подстилающая биосферу, созданы главным образом морем, приконтинентальными частями гидросферы. Они несут измененные остатки донной и грязевой морской воды — соленой — и образуют слой соленой, часто богатой карбонатами, переработанной анаэробной морской жизнью воды, в разных формах проникающей всю толщу стратисферы (§ 589, 736).

209. Есть еще другой источник пресной воды, собирающейся в биосфере и в стратисфере, связанный с дистилляцией водяных масс, освобождающихся этим путем от солевых частиц, благодаря высокой температуре, постепенно и непрерывно поднимающейся, начиная от поверхности, и уже в стратисфере достигающей 100 — 200°C.

Эта вода частью связана с магматическими процессами, частью, в конце концов, метеорного и морского происхождения.

Богатая кислотами, а иногда аммиаком, эта пресная вода является в своем первоначальном виде разведенной кислотой или щелочью (аммиачной) и быстро в окружающей земной среде — в биосфере уже — дает соленые воды.

Повидимому — в связи с тем же повышением температуры — метаморфизация соленых вод стратисферы резко растет с глубиной, и солевой их остаток увеличивается, — они переходят в рассолы.

Таким образом основным стержнем всего механизма природных вод является соленая вода (3,2—3,7%) океана. Пресные воды господствуют в земной газовой оболочке; они недолговечны и переходят в соленые растворы, которые на суше достигают чрезвычайного разнообразия, давая сотни видов природных вод. Глубже они переходят в рассолы — область явлений почти недоступная нашему изучению.

210. Чисто пресная — природная химически чистая вода химиков, все же проникнутая газами, однако существует в земной коре в определенных довольно исключительных условиях; она не может быть связана с процессами перехода из одного физического состояния в другое — с перегонкой. Объяснение ее происхождения надо искать в других явлениях — в коллоидальных процессах — во взаимоотношениях между мицеллами и ионами, может быть, в вымораживании (§ 561).

Мы знаем, что при испарении водного раствора и при перегонке паров воды неизменно захватываются другие компоненты раствора, сопровождающие воду тела; они летят вместе с ней при одной и той же температуре. Правда, это „следы“ — сотые и меньшие доли процента, — но следы в земной коре в геологическом течении времени превращаются в миллионы и больше тонн весом. Научно, к сожалению, мало исследовано это явление, но минералог с ним сталкивается на каждом шагу.

По этому одному химически чистая пресная вода, фреатическая или ювенильная, на нашей планете существовать, как общее правило, не может.

Она не может быть не только вследствие неизбежного нахождения твердых компонентов (солевого остатка) в парах. Всякая природная вода проникнута газами и уже этим отличается от химически чистой воды.

Более чистыми являются воды многократных природных перегонки при низких температурах, все более и более уменьшающих количество сторонних составных частей пара. В природе таковыми являются вадозные водяные пары. Они однако немедленно захватывают газы и те вещества, которые находятся в воздухе.

Пары воды частью получаются испарением из растворов в биосфере или в более глубоких частях земной коры, частью получаются синтетическими реакциями.

Представляется несомненным, что всегда можно проследить до них — и до их сжижения в пресную воду — всякий природный водный раствор, если углубиться в его историю.

211. Наиболее чистая природная вода содержит  $n \times 10^{-6}\%$  примесей, в ней растворенных. Это число отвечает поверхностной и вадозной подземной воде (верховодке?) — тому виду природных вод, который отвечает дистиллированной воде наших лабораторий. Коэффициент  $n$ , повидимому, невелик. Наиболее богатые солями рассолы содержат их до  $40\%$  — это поверхностные рассольные озера и может быть подземные рассолы, например, связанные с коррозионными водами.

Отсюда получается колоссальная амплитуда колебаний концентрации, отвечающая сотням миллионов раз

$$n \times 10^8 \text{ раз,}$$

при чем коэффициент  $n$ , повидимому, небольшой. Одна природная вода может содержать растворенных твердых тел в сотни миллионов раз больше, чем другая.

Амплитуда колебаний чрезвычайно уменьшается, если на ряду с ионами и гидратными комплексами мы будем учитывать и газовые компоненты. Мы не знаем вод без газовых компонентов. На самых высоких горах процент газовых компонентов может — в сумме — понижаться до  $n \times 10^{-4}\%$  (где  $n$  — большое число), — т. е. в этом случае амплитуда колебаний достигает нескольких миллионов раз и отдельные воды в сотни тысяч раз отличаются по концентрации.

212. Насколько различен состав получающихся продуктов — видно из следующих анализов наиболее чистой дождевой воды (учитывая элементы, превышающие  $10^{-2}\%$ ) и одного из рассолов, отнюдь не наиболее богатого „солью“ (газы в расчет не приняты):

Чистая дождевая вода	Рассол из Conneautville по А. Робинсону и Мавери	
(I — по весу. II — по числу атомов).		

Процентный состав (с точностью до 0.02%)

	I	II	I	II
O	88,88	33,33	61,43	30,80
Cl	0,00	0,00	19,25	4,35
H	11,11	66,66	7,68	61,61
Na	0,00	0,00	5,67	1,98
Ca	0,00	0,00	4,28	0,96
Mg	0,00	0,00	0,78	0,26
K	0,00	0,00	0,48	0,09
Br	0,00	0,00	0,16	0,00
Fe	0,00	0,00	0,08	0,00

В обеих водах есть все указанные здесь элементы, но в пресной воде все они и по весу и по числу атомов составляют меньше 0,02%, а для

рассола все по весу и большинство по числу атомов составляют больше 0,02%.

Одно такое резкое химическое различие состава, особенно по весу, должно заставлять выделять разные концентрации растворов, как особые минералы.

Это тем более необходимо, что история их различна; хотя между ними можно подобрать переходы, но в земной коре господствуют более крайние члены, и обычно не приходится сомневаться, к какому минералу — по концентрации — приходится отнести ту или иную природную воду.

213. На основании концентрации можно разделить все природные воды на три больших класса, границы между которыми были установлены исторически, житейски.

Делят воды — не говоря о более дробных подразделениях — на пресные и соленые. Среди соленых часто выделяют очень соленые — рассолы и солоноватые.

Эти деления установлены жизнью человека, его культурными потребностями.

Я кладу их в основу научной классификации природных вод, но в связи с значением вод в геохимии и минералогии отбрасываю воды солоноватые (соединяя с солеными) и ставлю класс рассольных вод на равное место с водами солеными и пресными.

В глубоких геосферах земной коры класс рассолов начинает преобладать и во всяком случае значение его с глубиной в земной коре увеличивается.

Таким образом можно выделить три класса: воды пресные, соленые и рассольные.

Неизбежно, уточняя употребление этих житейских подразделений, должен буду придавать им смысл, не всегда совпадающий с тем, который придается им в разговорном языке.

Уточнение понятия вносится прежде всего тем, что берется резко определенное, независимое от состава компонентов количество их, которое будет отделять пресную воду от соленой. Это число — 0,1% по весу — действительно очень близко к границе, отделяющей соленую на вкус воду от воды на вкус пресной — в том однако только случае, если соединения  $\text{NaCl}$  (или  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) будут преобладать в твердом остатке, который остается при испарении воды.<sup>1</sup>

214. Такое подразделение на пресные и соленые воды и вообще не есть подразделение случайное.<sup>2</sup> Оно не случайно как с точки зрения животного и растительного мира, так и с точки зрения свойств природных вод. Точно так же, как величина диэлектрической диссоциации молекул воды — величина  $P_n$ , наблюдаемая в океане, определяет всю

---

<sup>1</sup> Пресный характер воды отвечает понятию о ней, как о воде питьевой. Эмпирически человек — с незапамятных времен — отличал эту воду, руководствуясь здесь инстинктом и народным опытом.

В значительной части Западной Европы предельным содержанием сторонних веществ (твердого остатка) признается для хорошей питьевой воды  $5 \cdot 10^{-2}\%$  (в Англии по Тногре); обычно однако питьевая вода содержит значительно меньше сторонних тел. Для некоторых мест в питье идет солоноватая вода (для сухих частей Придонья, по К. Лисицыну  $1,0 - 1,5 \cdot 10^{-1}\%$ ). Выведенное эмпирически допустимое содержание растворенных солей в поливных водах, по Гильгардту, отвечает в максимальном пределе  $1,1 \times 10^{-1}\%$ .

Вода, содержащая  $5 \times 10^{-2}\%$   $\text{NaCl}$  на вкус уже соленая. Такая вода относится по классификации, мною принятой, к водам пресным.

<sup>2</sup> Вместо солевого остатка можно взять другое физическое свойство, напр., электропроводность, тоже функцию концентрации раствора. Для пресных озерных вод электропроводность колеблется в пределах  $3,3 \times 10^{-5} - 1,3 \times 10^{-3}$  ома на  $\text{см}^3$  (Э. Ваглер, 1923). Все соленые воды имеют большую величину электропроводности, чем  $1,5 \times 10^{-3}$  ома.

его жизнь, точно так же эмпирически установленная граница концентрации  $10^{-1}\%$ ,<sup>1</sup> связанная с количеством ионов металлов,  $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$  и  $\text{CO}_3$ , определяет характер всей жизни, а следовательно и всех химических процессов пресных вод.

Жизнь пресных вод и жизнь соленых вод совершенно иная и это различие выдерживается на всем протяжении ее — и в арктических и в тропических областях.<sup>2</sup>

215. Но это только по отношению к ионам  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , отчасти  $\text{SO}_4^{2-}$ . Уже для обычных в биосфере ионов  $\text{Ca}^{++}$  и  $\text{CO}_3^{2-}$  — физиологический эффект их растворов, близких к  $10^{-1}\%$  концентрации, иной, и соленый вкус воды исчезает. Это воды на вкус пресные — по обывательской классификации, но жесткие.

В проводимой мной классификации они входят в класс соленых вод.

В этих жестких, пресных и соленых водах мы встречаемся также с явлением, которое отличает богатые и бедные твердыми компонентами растворы. Это кальциевые, богатые  $\text{SO}_4$  и  $\text{CO}_3$  соленые растворы часто уже насыщены или почти насыщены и легко — при земных условиях — выделяют избыток компонентов в твердой фазе.

Поэтому воды, богатые  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  или  $\text{CO}_3^{2-}$ , не выходят за пределы соленых вод. Это воды пресные или соленые.

Соли  $\text{Na}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{K}$ , достигают такого насыщения при гораздо большей концентрации (в условиях биосферы). Эти более насыщенные солью растворы выделяются мною в другой класс природных вод — рассольных вод или рассолов.<sup>3</sup>

Для рассольных вод насыщенное состояние их — в условиях биосферы — не может считаться характерным, т. к. для кальциевых соединений оно достигается, как мы видели, уже в классе соленых вод. Для рассолов является характерным, что при  $5\%$  солевого осадка все главные соли всех металлов, имеющих значение в истории природных вод —  $\text{Mg}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Ca}$ , — не разбиты на ионы в главной части их массы. Граница в  $5\%$  — условная. Для сложного природного раствора нельзя дать одну определенную концентрацию, при которой распадением компонентов на ионы одновременно отходило бы на второй план. Можно однако считать, что в рассоле выше  $5\%$  резко преобладают ассоциированные комплексы — гидратные комплексы во всех природных случаях.

Дело будущего эмпирически установить это число, учитывая те комплексы, которые отвечают в водах биосферы этому условию (§ 267). Задача не представляется мне невозможной. Характерное число для рассолов будет, по видимому, меньше 5, но близко к нему.

216. Несомненно концентрация природного раствора в значительных пределах может в разное время меняться в ту и другую сторону, благодаря, напр., притоку пресной воды или усилению или ослаблению

<sup>1</sup> Оно очевидно не отвечает точно  $1 \times 10^{-1}\%$ , как это принято в данной классификации. Для  $\text{NaCl}$  и для животного царства надо, по Гессе (1924), считать солеными все воды, содержащие больше  $3 \times 10^{-2}\%$  остатка.

<sup>2</sup> Очень удобно для решения некоторых проблем выделить слабые соленые растворы — от  $0,1$  —  $1\%$ , как солоноватые воды. Их распространенность в верхних частях земной коры является характерной чертой в истории природной воды, их жизнь тоже во многом отлична, а главные для них отличны продукты биохимических реакций. Так, напр., по видимому образование нефтей, приурочено к солоноватым водам, а не к соленым. Я не решился, однако, при современном состоянии наших знаний усложнять классификацию. Необходимая, вероятно, поправка — дело будущего.

<sup>3</sup> Понятие рассола здесь и дальше употребляется в понимании, довольно резко отличном от житейского. Рассолом может быть и газообразная (§ 523) и твердая фаза воды. Им будет в известных случаях почвенный раствор. В научной литературе ряд озер, называемых здесь рассольными, называются обычно солеными самосадочными.

испарения. Многочисленные примеры этого мы видим, напр., в истории рек (§ 605 сл.) или озер (§ 618 сл., 787 сл.).

Но в общем — в среднем — она остается очень постоянным признаком, и колебания ее закономерны — идут в определенных пределах. Постоянство концентрации является следствием установившегося динамического равновесия и резко сказывается, напр., на постоянстве концентрации морской воды (§ 413) или минеральных источников (§ 452 сл.).

Благодаря этому постоянству точное установление концентрации позволяет путем изучения вод глубоко проникать в химию земной коры. И с этой точки зрения чрезвычайно характерны два явления: 1) обилие пресных вод вблизи земной поверхности и 2) соленая концентрация морской воды.

И то и другое явление дает нам мерку соотношения между интенсивностью испарения (т. е. величиной тепловой солнечной энергии) и химических процессов биосферы, которые в конце концов — через живое вещество — в значительной мере сводятся к другим излучениям того же самого светила. Для концентрации океанической воды характерно: 1) ее постоянство, почти отвечающее постоянству химического соединения, 2) то, что одинаковый неизменный состав охватывает более половины всей воды земной коры, и 3) то, что он, можно думать, в среднем неизменен за все геологическое время.

Только в более глубоких слоях земной коры находятся, может быть, воды, в которых чисто химические процессы выдвигаются на первое место. Это должно выражаться в большем осолонении вод и, может быть, в образовании рассолов. Но эти глубокие воды нам почти недоступны, и мы должны заключать об их существовании на основании косвенных соображений.

217. Следующая схема отвечает вышесказанному:

1) Гидросфера (океан) — соленая вода концентрации 3,2—3,6‰.

Под ней в глубоких геосферах в среднем глубже 3,8 километров, находятся рассолы, соленые воды и соленые пары (?)

2) Суша — пресные воды и реже рассолы и соленые растворы, отличные от вод гидросферы.

Под ней в стратисфере соленые воды, переходящие глубже в рассолы.

Из глубин выходят на сушу пресные, соленые и рассольные воды и пары.

Эта схема является характерным выражением диссимметрии строения земной коры и дуалистической структуры истории природных вод.

В геологическое время в течение порядка  $2 \times 10^9$  лет это явление, по-видимому, осталось неизменным.

218. Как мы видели (§ 14), одной из самых характерных черт природных вод является то, что они составляют часть огромного механизма земной коры:

природная вода  $\rightleftharpoons$  природные газы.

Газы и воды находятся в постоянном обмене, и газы в растворе в воде сохраняют тесную связь с той газовой средой, в которой находится вода, т. е. молекулы газов лежат в воде вне ее молекул (§ 346).

Газы природной воды определяют всю химию вод и могут быть приняты за другой основной признак классификации природных вод.

Газы в земной коре вообще очень немногочисленны, а газы, наблюдаемые в значительных количествах, еще того менее. Характерно, что это все те же газы, какие образуются в биохимических процессах. Такими собирающимися в земной коре в значительных количествах газами являются: свободный кислород (I § 241), свободный азот (I § 243), углекислота, сероводород, водород (I § 247) и разнообразные углеводороды. Из

последних до сих пор обращают внимание только на метан, что дает неполное и искаженное представление о реально существующем природном явлении, так как этан и пропан, а может быть и углеводороды этиленового ряда играют серьезную роль в истории природных вод.

Как мы видели в первом томе, изучая историю элементарных газов, все природные газы находятся в постоянном химическом движении — постоянно образуются и входят в химические соединения, дают химические динамические равновесия, в результате которых их количество в земной коре остается неизменным.

Благодаря свойствам газов, эти динамические равновесия захватывают максимальный объем; в каждой геосфере газы распространяются всюду, образуя единое динамическое равновесие — однородную среду, — если только нет особых условий, этому препятствующих.

Этим прежде всего определяется их значение в истории природных вод.

Оно еще увеличивается благодаря тому, что динамические газовые равновесия приурочены к геосферам, т. е. меняются в вертикальном разрезе планеты.

Хотя есть взаимодействие между всеми газами планеты, однако это взаимодействие ограничено свойствами газов и среды. В атмосфере газы земли распространяются в космическую среду с неодинаковой скоростью; легкие газы уходят дальше и быстрее от земной поверхности. В области высокой атмосферы к пределам стратосферы надо ждать резкого уменьшения более тяжелых газов (углекислоты, например) и увеличения количества легких (гелия, водорода).

Тропосфера непосредственно связана с подземными скоплениями газов — с подземными атмосферами, состав которых резко иной, чем ее состав. Так кислород, создающий жизнь в тропосфере, быстро исчезает в подземных атмосферах, где около земной поверхности выступает на первое место углекислота (§ 229 сл.).

Можно различить смену химически различных подземных атмосфер с углублением в земную кору. Глубже других газов идут углеводороды и м. б. азот.

Эта смена подземных атмосфер имеет первостепенное значение в истории природных вод, так как определяет газовый режим подземных и глубинных вод, их подклассы (§ 334).

219. Газы, входя в природные воды, могут находиться в них в нескольких различных состояниях: 1) в растворе, 2) в виде газовой эмульсии (газовых пузырей) и 3) могут входить в химические соединения, или входя в мицеллы, или, чаще, переходя в разнообразные ионы.

В сложной системе водных растворов между всеми этими состояниями поглощаемых газов есть всегда свои вторичные сложные равновесия; они переходят в зависимости от условий среды из одного состояния в другое.

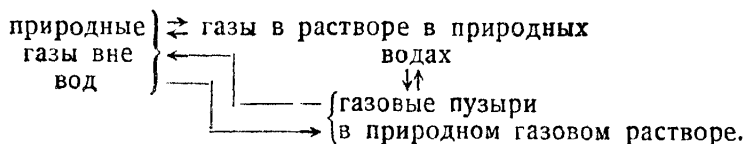
Нет надобности останавливаться здесь на растворах газов, хотя, к слову сказать, наши о них представления не очень конкретны; но надо остановиться на образовании газовых пузырчатых структур (газовых эмульсий) и особенно на химическом изменении молекул некоторых газов при их растворении в водах, ибо это последнее явление имеет первостепенное значение в их классификации.

Газовые пузырчатые эмульсии — не случайное, а постоянно наблюдаемое в природном газовом растворе явление, так как газовый раствор есть функция температуры и давления, которые непрерывно меняются, иногда чрезвычайно резко для некоторых определенных семейств природных вод, например, для минеральных источников, выходящих на земную поверхность, в биосферу — в область низкого давления и низкой температуры — из областей, давление которых достигает сотен атмосфер, а температура превышает 100° С — температуру кипения чистой воды в биосфере.

Поэтому равновесие:

газы  $\rightleftharpoons$  природные воды

должно быть представлено в форме:



Необходимо отделять эти состояния газов в воде, потому что они представляют закономерные физические динамические равновесия и ими обуславливаются разнообразные химические явления в природных водных растворах, не объяснимые только газовыми растворами.

В тех случаях, когда газы образуются химическими и биохимическими реакциями в водном растворе на месте, без изменения термодинамических условий среды, образование газовых эмульсий есть в очень многих случаях не менее обычное и важное явление чем раствор.

Водный газовый раствор мы объединяем с водными растворами и коллоидными псевдоразствами твердых и жидких компонентов; с таким же правом и удобством можно сравнивать водный раствор, проникнутый газовыми пузырями, с гидрозольми.

Газовые пузыри будут отвечать мицеллам и мутям.

220. Газовые эмульсии образуются разным образом. Они образуются благодаря процессам изменения самого раствора и благодаря внешним условиям его нахождения.

Среди первых необходимо отметить радиогенные и биогенные.

Первые образуются благодаря излучениям —  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ , выделяемым радиоактивными атомами, распадающимися в водном растворе.

Это большое и важное явление не только не изучено сколько-нибудь достаточно для природных тел, оно не изучено и само по себе. А между тем все воды содержат такие атомы.

Оно требует изучения. Вероятно, что  $H_2$  и  $O_2$ , получающиеся распадом молекул воды напр., под влиянием атомов радия, не давая эмульсий, сейчас же растворяются в воде.

Но другие эмульсии — биогенные — известны и играют важную роль в природе.

Их образование широко распространено для хлорофильных растений и идет при процессе фотосинтеза в водной среде.

В частности оно имеет здесь место и для микроскопических мелких организмов — для мельчайших зеленых водорослей, — и очень вероятно, что этим путем образуются и такую невидную глазом газовую зольную структуру имеют те пересыщенные скопления кислорода и азота, которые наблюдаются в верхних планктонных пленках водных водоемов, в том числе и океанов, для кислорода, под влиянием деятельности зеленого планктона, а для азота — бактерий (I, § 240—241).

Этим путем создаются мощные обогащения кислородом водных бассейнов, иногда более чем в  $3\frac{1}{2}$  раза превышающих насыщенные кислородом (путем растворения) водные массы. Их неправильно называют пересыщениями.

221. Другой формой таких газовых золь является выделение из природных вод свободных газов — чрезвычайно распространенное явление, к которому я еще вернусь (§ 224), связанное с изменением температуры и давления в окружающей водный газовый раствор среде.

Это явление сложное.

Здесь надо различать: 1) „случайное“ одновременное выделение вод и газов из одного выхода. Случайное в том смысле, что выделяющийся

газ никакого отношения к водному раствору, в котором он движется, не имеет: он проник со стороны, из глубоких частей земной коры, в тот выход в биосферу (естественный или искусственный в буровых скважинах), каким в нее выходят воды, 2) газы, которые растворены в воде при более высоких давлениях и более низких температурах и выделяются в пузырях, когда эти два параметра раствора меняются, и 3) газы, которые при тех же условиях выделяются в газовой эмульсии при распадении некоторых ионов, например,  $\text{HCO}_3^-$  или при химических реакциях, например при взаимодействии воды и растворенного газа  $\text{CSO}$ .

222. Существование проходящих „случайных“ газов, совместно с водами, приходящими снизу в биосферу, вызывает не только образование газовых гидрозолей, но и изменение растворенных газовых компонентов, так как часть этих сторонних газов растворяется в воде, в которой проходят газовые пузыри, меняет ее газовой состав.

И здесь, повидимому, приходится различить два разных явления, которые сейчас обычно не различаются: 1) газы, идущие снизу и 2) газы подземной тропосферы, участков тропосферы „обычного воздуха“, которые глубоко проникают и всю биосферу и часть стратисферы на глубину многих сотен метров, местами м. б. нескольких километров. К сожалению, это явление, вероятно имеющее большое значение и для учета газового состава вод, совершенно не изучено. Отмечая его здесь, я оставляю его в дальнейшем изложении в стороне.

Для понимания этого явления отсутствуют нужные факты — прежде всего определение температуры газовых пузырей сравнительно с температурой той воды, из которой они выделяются.

223. Может быть еще больше, чем для растворенных газов, здесь необходимо сейчас вызвать систематическую количественную работу.

Выделяющиеся газы — газовые эмульсии — струи, выходящие из природных вод, сейчас многократно энергически изучаются и анализируются в связи с поисками гелия или горючих газов. Их практическое значение позволяет направить сюда средства, которые не даются — на нашем уровне цивилизации — на решение научных задач. Но их исследование поставлено близоруко узко; огромный научный факт не изучается до конца: в частности не изучаются ни растворенные газы, ни температура раствора и газа одновременно, и не определяются точно семейство и вид воды.

А между тем и это последнее имеет огромное значение. Газы могут выделяться из пластовых вод и из минеральных источников. Для пластовых вод они не являются обычно в большем количестве, так как для них есть предохранительный аппарат: в водоносном горизонте они при уменьшенном давлении занимают прежде всего поры водоносной породы, вернее части пор, вытесняя оттуда воду. Выделение таких газов наблюдается вблизи земной поверхности (O. Meinzer, 1928).

224. Повидимому, газы, выделяемые при диссоциации газового раствора и ионных компонентов, являются наиболее распространенными.

Мне придется еще касаться этих явлений более подробно дальше. Здесь же я приведу один пример, дающий понятие о сложных газовых эмульсиях, которые могут образовываться в природных водах и требуют изучения.

Образование диссоциационных газов может иногда наблюдаться резко, как особое явление, отличное от газов раствора со стороны приходящих.

Иногда выделение газов, связанное с диссоциацией, резко видно и отличается от проходящих через раствор газов: они выделяются мелкими пузырьками, „пронизывающими воду, тогда как „сторонние“ водному раствору газы выделяются периодически или большими пузырями. Состав таких газов различен.

Так, например, в пресном источнике Tempelquelle в Steben'e, в Баварии (вид  $\text{O} - \text{Ca} - \text{C} - \text{Mg}$ ) выделяются одновременно мелкие (I) и большие (II)



газовые пузыри. Их состав объемный (а) и весовой (b) — в процентах виден из следующих чисел (ан. А. Hilger'a, 1889):

	I.		II.	
	a	b	a	b
CO <sub>2</sub>	86,9	95,4	0,8	2,5
N <sub>2</sub>	12,6	4,4	90,0	87,8
O <sub>2</sub>	0,5	0,2	8,7	9,7

Можно объяснить указанным образом это явление — только в первом приближении. Оно более сложно.

Для полного суждения хотя бы в данном частном случае не хватает данных, — нет анализа растворенных газов. Большие пузыри могут происходить не только от прохождения газовых — сторонних раствору — струй, но и от выделения растворенных газов при меньшем давлении в биосфере. Их размеры могут указывать на отношение насыщенности газами раствора по сравнению с составом тропосферы. Судить о газовом режиме воды по анализам свободно выделяющихся газов является очень рискованным. Они дают совершенно другую картину, чем газы растворенные.

Так, например, в минеральном источнике (азотно-углекислом, Ca—O—Mg—S) Rey Salud в Trilo, в Гуадалайаре, в Испании, по F. Dias de Rada (1927) находятся:

Газы раствора:			Газы, свободно выделяющиеся:		
%	объем	вес	%	объем	вес
N <sub>2</sub>	35,91	26,52		90,74	85,45
CO <sub>2</sub>	61,10	70,94		6,93	10,44
O <sub>2</sub>	3,00	2,54		2,83	3,10

Как видно и из этого примера, известная общая основа есть между этими двумя анализами: постоянство кислорода. Характерно резкое изменение, вносимое углекислотой.

225. Эти свободно выделяющиеся газы, образующие газовые эмульсии, должны уже поэтому обратить на себя самое серьезное наше внимание и изучаться в связи с химическим составом источников.

Они должны обратить наше внимание еще и потому, что они, как мы увидим позже, являются проявлением особого свойства природных вод, отсутствующего, вообще говоря, в воде, изучаемой в наших лабораториях.

Благодаря газовым эмульсиям и диссоциационным, создающим газовые эмульсии, процессам, связанным с особым характером некоторых обычных ионов, газы вызывают движение и перемещение вод, меняя то гидростатическое движение, которое вызывается для глубоких вод под влиянием свойств жидкости.

Гидростатическое давление само создает, как мы видели, газовые эмульсии, например, в напорных пластовых водах или в глубоких минеральных источниках.

Растворение газа есть функция давления: при уменьшении давления газ выделяется в свободном виде — в газовой эмульсии; при увеличении давления газы переходят в газовый раствор.

Растворенные газы и газовые эмульсии придают природным водам особые свойства: расширяясь и сжимаясь, они вызывают их движение. Упругость газов вызывает и усиливает определенное движение, определенный напор подземных вод. Под влиянием газов (какого бы происхождения они ни были — в том числе и биогенного) природные воды находятся в вечном движении, имеют некоторые свойства газов.

Необходимо отличать два явления: во-первых, явления, связанные с тропосферой и ее движениями, и во-вторых — движения более глубоких подземных вод. Верховодки, как показал П. В. Отоцкий, колеблются

в своем уровне отчасти в связи с изменением барометрического давления, т. е. с движениями тропосферы.

По мере того, как вода уходит в более глубокие слои земной коры, приобретает все большее значение давление растворенных в ней и выделяющихся в ней эмульсионных газов.

Воды, идущие с глубин, обладают давлением; это — напорные воды; их давление — частью гидростатическое, частью газовое, частью гравитационное (§ 686).

Природная вода приобретает новые свойства, отсутствующие в чистой воде химика или физика.

Давление природных вод приобретает особое значение, когда воды выходят из глубоких частей земной коры, где газы способны в них растворяться в большем количестве.

Такие воды являются резкими нарушителями среды биосферы, и эти газы резко меняют историю ее природных вод.

Она меняется еще и тем, что температура растворенных и эмульсионных газов иная, чем температура воды. Газы проникают в водные растворы не только из тропосферы, они проникают и снизу из стратисферы и метаморфической геосферы. Для многих из них — в частности, для азота и углекислоты — возможно проникновение в биосферу и в стратисферу и т. д. из областей еще более глубоких, температуру которых они вносят, растворяясь и эмульсируя, в более холодной и верхней воде.

226. Наиболее характерным фактом является теснейшая связь некоторых из основных газов природных вод с определенными земными оболочками, т. е. закономерное изменение состава газов с земной глубиной. Благодаря этому химия природных вод приобретает своеобразный облик.

Если вода, несущая газовые компоненты одной оболочки, попадает в геосферу с другой газовой средой, она быстро меняет свой газовый состав и принимает новую газовую структуру, отвечающую новой геосфере, в которую она попала.

Вода, лишенная газа, известна только в наших лабораториях, и то с какими усилиями мы достигаем ее получения и с каким трудом и предосторожностями можем ее сохранить! Природная вода всегда содержит в растворе (обычно и в эмульсии) газ. Определение того и другого газа, особенно растворенного в природной воде, может дать очень ясные и определенные данные о ее положении в земной коре, о ее происхождении.

227. В газовом растворе и связанной с ним эмульсии надо различать два явления: 1) изменение количества газов и 2) изменение их качественного состава.

Характерно, что и то и другое явление закономерно меняется с глубиной, является функцией положения воды в разрезе планеты.

Для концентрации газового раствора это понятно, так как количество газа в растворе зависит от температуры и давления, которые меняются в вертикальном разрезе планеты.

Изменение концентрации газов было — так же, как и изменение качественного состава — найдено не теорией, а путем наблюдения и лишь позже было теоретически понято. Первые сюда относящиеся явления были отмечены в XVIII столетии, во второй его половине, — но и до сих пор систематические исследования их отсутствуют (§§ 409, 421 сл., 427).

Впервые А. Лавуазье заметил, что поверхностные воды на горных высотах более легки, что он правильно объяснил сильным уменьшением в них количества растворенных газов.

Для нас сейчас этот вывод ясен теоретически и совершенно исчез из нашего понимания тот метод наблюдения — определение веса литра природной воды прямым взвешиванием, — которым было достигнуто эмпирическое обобщение Лавуазье. Несколько позже был установлен

Пирсоном иной состав — по сравнению с составом тропосферы — газов природных вод, идущих из более глубоких частей планеты (§ 421).

228. Низкая температура высоких горных вершин кладет предел водным растворам, бедным газами, так как жидкая вода нормально на них не существует. Однако все же вертикальная разница очень значительна, так как в Гималаях, например, снежная граница подымается местами до 6 километров и в солнечные дни жидкая вода может существовать и на больших высотах. Если учесть эти условия, следующие числа дают понятие о растворимости воздуха на этих высотах:

При 0° С; весовые проценты.

	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Уровень моря (760 мм)	$1,47 \times 10^{-3}$	$2,29 \times 10^{-3}$
5000 метров над уровнем моря (398 мм)	$7,68 \times 10^{-4}$	$1,17 \times 10^{-3}$
Эверест 8800 м (205 мм)	$3,94 \times 10^{-4}$	$6,03 \times 10^{-4}$

Если пресные воды могут содержать и меньшие проценты кислорода — поверхностные воды суши не дают иным путем азота порядка ниже  $10^{-3} \%$

Низкая температура повышает растворимость разреженного воздуха на этих высотах.

В областях высоких давлений для вод под давлением нескольких сот атмосфер концентрация газового раствора повышается, но высокая температура этих областей действует в обратную сторону.

К сожалению, эти все явления изучены очень недостаточно, но, повидому, как указано уже (§ 190), — в доступных нашему изучению природных водах сохраняется всюду в биосфере весовое содержание газов порядка  $p \times 10^{-3}$ .

Этот порядок весового содержания газа сохраняется даже для вод высоких горных вершин и может быть лишь в высоких тучах (анализов нет) спускается до  $p \times 10^{-4} \%$ , при чем  $p$  имеет большую величину.

Все поверхностные воды содержат тот же (весовой) порядок газовых компонентов. Это явление идет еще глубже — оно захватывает, вероятно, значительную часть вод стратисферы. К сожалению, недостаток точных данных не позволяет сейчас делать вполне определенные выводы.

Повидому только восходящие воды — минеральные источники, богатые углекислотой, дают в биосфере неустойчивые водные массы, содержащие до  $10^{-1} \%$  растворенных газов (CO<sub>2</sub>), быстро приходящие в нормальные воды с  $p \times 10^{-3} \%$  растворенных газов. Избыточная CO<sub>2</sub> не отвечает, повидому, водным массам с повышенным газовым содержанием, реально существующим в более глубоких участках земной коры, но отвечает устойчивым под большими давлениями (в более глубоких частях земной коры) растворам двууглекислых солей, разлагающихся ближе к земной поверхности с выделением свободного углекислого газа, частью растворяющегося в воде.

Можно, таким образом, считать, что порядок  $10^{-3} \%$  весового газового содержания характерен для всех вод земной коры. Дальнейшее изучение выявит, насколько этот вывод может считаться окончательным.

Это число очевидно связано 1) с давлением тропосферы и 2) с уменьшением отличного от водяных паров газового содержания подземных атмосфер. Если в атмосфере наземной на первое место выступают азот и кислород, то в атмосферах подземных на первое место выступает водяной пар (§ 54) который очевидно, не влияет на газовые компоненты жидких водных масс.

229. Вниз от биосферы — с увеличением давления — концентрация газов, согласно закону Генри-Дальтона, должна увеличиваться, пока температура не повысится настолько, что компенсирует влияние давления. Есть и другие обстоятельства, ставящие предел увеличению концентрации газов.

Остановимся — вкратце — на газовом режиме областей планеты ниже биосферы.

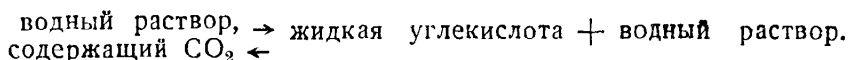
Если бы здесь действовал только закон Генри-Дальтона, то мы имели бы очень насыщенные газовые растворы, несравнимые с теми, какие мы наблюдаем для биосферы. В атмосфере азота при давлении 2500 атмосфер, когда жидкая вода может существовать, весовое количество азота превысило бы 5% при 0°. Конечно, высокая температура этих областей (выше 300° C) действует в обратную сторону, но все же мы имели бы здесь количества азота, превышающие те, которые мы наблюдаем в биосфере.

Но все эти рассуждения, связанные с экстраполяцией, недопустимы, так как с удалением от биосферы с ее газовой составной частью на сцену выступают явления, прекращающие существование газов в той форме, в какой мы их наблюдаем в близких нам термодинамических условиях.

230. Этому способствуют частью явления физические, частью — химические. Физические явления связаны с переходом газов в жидкость. Из обычных газов воздуха только углекислота переходит в жидкость при давлении около 36 атмосфер (при 0°) и в форме газа не может находиться уже на относительно небольшой глубине немногих километров. Она может приходить сюда снизу из отдельных рассеянных магматических очагов в горячем состоянии, но по охлаждении будет обращаться в жидкость.

Критическое давление углекислоты равно 73 атмосферам. Благодаря своему переходу в жидкое состояние при давлении выше 36 атмосфер при обыкновенной температуре, углекислота в целом ряде случаев находится в земной коре в жидком состоянии (например, во включениях в кварцевых жилах, в гранитных и метаморфических породах, в биосфере), и должна при невысоких — обычных нам — температурах находиться в жидком состоянии уже на глубине немногих десятков (в холодных странах) или сотен метров.

Жидкая углекислота почти не растворяется в воде и почти не растворяет воду. Поэтому при достаточном давлении и при низкой температуре образуется равновесие:



Таким образом, мы имеем определенную поверхность, ниже которой газообразной  $\text{CO}_2$  нет, — она может быть только жидкостью или в виде ионов  $\text{CO}_3$  и  $\text{HCO}_3$ .

Термодинамическая область устойчивости жидкой углекислоты определяется в земной коре биосферой и местами верхней частью стратиферы. Ею занят весь океан. Она ограничивает область, где могут существовать температуры среды ниже ее критической температуры, т. е. ниже 34° C. Ниже я останавлиюсь (§ 756) на явлениях, связанных с этой особенностью углекислоты в океане; отмечу только сейчас, что здесь резко сказывается ее легкая способность к химическому взаимодействию с водой.

В связи с этим на некоторой глубине может быть перерыв в нахождении газообразной углекислоты. Но и здесь выше своей критической температуры она должна существовать, а ниже одного-двух километров от земной поверхности температуры 34° не существует, температура всегда выше.

Из определений Врублевского (1882) вытекает, что при  $0^{\circ}\text{C}$  и 30 атмосферах давления чистая вода будет содержать  $6,49 \times 10^{-1} \%$  газобразной  $\text{CO}_2$  по весу, а при  $12,5^{\circ}\text{C}$  —  $3,67 \times 10^{-1} \%$ . Число недалекое от  $7,0 \times 10^{-1} \%$   $\text{CO}_2$  по весу будет отвечать максимальному количеству углекислоты, которое наблюдалось в растворе в пресной воде при выходе в биосферу глубинных двууглекислых вод.

Число это едва ли реально встречается в водах глубин, вследствие химического взаимодействия между водой и углекислотой.

231. Кислород исчезает еще раньше, так как он заметно создается только в биосфере и рассеивается при углублении согласно газовым законам, не говоря уже о возможном химическом связывании.

Глубже других идет азот. Я считал одно время (1908—1910) возможным допущение, что азот идет очень глубоко внутрь земной коры, но более тщательное изучение нового материала указывает, что азот постепенно исчезает на небольшой глубине; на это указывает уменьшение его в минеральных источниках, где процент его достигает  $10^{-4}$  —  $10^{-5} \%$ , и затем на то же указывает изучение геохимии азота в водных растворах. Я вернусь к этому вопросу ниже.

Углеводороды кроме метана и может быть этана тоже на некоторой глубине должны пройти через жидкое состояние.

Таким образом все указывает, что как будто бы мы имеем предел для газов (за исключением водяного пара) в земной коре, где-то в верхней фреатической или нижней части стратисферы: безгазовую зону. Общее содержание газов в вышележащих глубоких водах едва ли превышает  $10^{-1} \%$  по весу.

Газы вновь появляются ниже в областях высокой температуры.

232. Гораздо точнее наши знания о качественном составе газовых природных растворов.

Газовые компоненты с точностью известны для вод, достигающих биосферы. Часто можно с большей или меньшей уверенностью — хотя и не прямым путем — судить на основании изучения этих вод и генезиса минералов, образовавшихся водным путем, о газовых компонентах глубинных вод.

Все указывает, что и для них удерживаются те же основные черты нахождения, какие наблюдаются в биосфере, а именно: в огромном большинстве случаев по весу преобладает один или два газа, редко приходится считаться с тремя газами; кроме того эти преобладающие газы закономерно меняются в вертикальном разрезе земной коры.

Таковыми преобладающими газами, характеризующими подклассы, могут являться 7 — 8 газов, а именно следующие:

$\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$  и, может быть, бутан и пропан.<sup>1</sup>

Из них — по своим химическим свойствам — свободный кислород и углекислота и в меньшей степени сероводород являются наиболее важными.

Подклассы определяются по господствующим газам: азотные, азотно-углекислые и т. п.

Остановимся здесь на некоторых свойствах растворов и эмульсий этих газов в природных водах, прежде всего с точки зрения их положения в вертикальном разрезе земной коры.

Начнем со свободного кислорода.

233. Основной чертой является ограничение на нашей планете свободного кислорода пределами биосферы. В подавляющей своей массе свободный кислород есть вадозный минерал. Все воды, его заключающие, суть вадозные воды, или воды, измененные в коре выветри-

вания. И очевидно, все химические процессы такой воды резко отличаются от химически идентичного раствора, лишенного свободного кислорода.

Присутствие свободного кислорода в воде прежде всего отражается на биогеохимическом характере воды. Оно определяет явления жизни в природной воде и регулирует ее развитие. Этим кислород влияет на все динамическое равновесие, какое представляет природная вода, самым могущественным образом.

Вода, лишенная кислорода, может обладать только анаэробной жизнью, и с химической точки зрения резко противоположна воде кислородной. Это—среда восстановительных процессов, тогда как вода кислородная есть среда окислительная.

В присутствии кислорода химические явления вод, в которых растворен, например, сероводород или уголекислота, резко меняются и не могут быть сравниваемы с теми процессами, которые идут в них же в его отсутствии. Растворенный кислород влияет и на многие другие компоненты природной воды.

Он влияет и на ионы или мицеллы солей. Он их окисляет, и они могут терять кислород при большом его уменьшении. Так вероятно окисление аммиачных составных частей вод; постоянно окисляются азотно-углеродистые мицеллы и ионы (образуются  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ), окисляются закисные соединения в окисные, например, железа.

Кислород влияет и на газовые компоненты, окисляя и разлагая, например,  $\text{CSO}$  или  $\text{H}_2\text{S}$ .

Эти процессы играют огромную роль в истории природных вод и в химии земной коры, как мы увидим ниже.

234. Такая химическая активность кислорода, растворенного в природной воде, еще более увеличивается двумя обстоятельствами. Во-первых, тем, что газ, растворенный в воде, значительно обогащен кислородом по сравнению с газом тропосферы, который является для него основным источником в виду большей растворимости кислорода по сравнению с азотом (I, § 238); и, во-вторых, тем, что поверхностные воды могут иметь дополнительный окислительный характер, благодаря присутствию радия, озона (I, § 245) и может быть, перекиси водорода.

Эти ничтожные примеси, быстро исчезающие в двух последних случаях, могут, однако, играть большую роль в экономии явления.

Благодаря жизнедеятельности зеленых организмов в поверхностных водах биосферы, количество свободного кислорода увеличивается из-за его „пересыщения“ — образования мельчайших эмульсий (I, § 240).

235. Такой характер вадозных вод невольно заставляет обращать внимание на характер атомов кислорода, находящихся в природной воде.

Эти атомы подвижны иным образом, чем мы должны это допустить для ионов. Ионы кислорода, по нашим современным представлениям, отсутствуют в природных водах. Кислород в них находится в других состояниях — в газовом растворе, в газовой эмульсии, в сложных ионах и в мицеллах. Но так как между всеми этими состояниями кислорода есть генетическая связь (атомы кислорода переходят из одного состояния в другое, — существует подвижное равновесие), — то общее количество кислорода, удерживаемого природными водами, имеет большое значение в химии земной коры и должно быть количественно учитываемо.

По количеству подвижного находящегося в них кислорода можно иметь представление о химической активности природных вод.

К сожалению, вся эта область явлений очень мало охвачена теоретической мыслью и экспериментом. Определение связанного кислорода в природных водах всегда не прямое.

По свободному кислороду резко отличаются верхние вадозные воды биосферы от всех остальных. Они имеют огромный резервуар для получения свободного кислорода — атмосферу, с которой находятся в непре-

рывном химическом обмене. Отсюда может почерпаться кислород в сложные комплексы — в ионы и мицеллы — идут в воде реакции окисления.

236. Чрезвычайно важно сейчас точное определение той границы, до которой доходит в подземных водах свободный кислород, — точное определение так называемой кислородной поверхности (I, § 240).

Очень вероятно, что обычно даваемое объяснение его исчезновения не охватывает всего явления. Быстрое исчезновение кислорода на небольших глубинах от земной поверхности — и соответственное прекращение аэробной жизни — объясняется обычно тем, что он до конца или потребляется этой жизнью — мы знаем, что в водах живут организмы, довольствующиеся очень малым его количеством, — или же идет на окисление — химическое или биохимическое — окружающей минеральной среды (например, соединений железа).

Но должна существовать и еще одна причина его исчезновения. По мере углубления в среду стратисферы или метаморфической оболочки вода входит в газовую среду, в которой кислорода вообще нет, но есть углекислота и азот. Вследствие этого парциальное давление кислорода увеличивается, и кислород уходит из газового водного раствора. Он должен все более и более рассеиваться в этой лишенной кислорода среде. Должно быть, здесь существует неизвестное нам равновесие, определение которого было бы очень важно. К сожалению сейчас сколько-нибудь надежные данные отсутствуют.

То, что мы имеем идущие снизу воды, иногда вполне лишенные растворимого кислорода, указывает, мне кажется, все же на то, что статки кислорода поглощаются иным процессом — может быть жизнью, может быть химическим. Но все же одной из главных причин его исчезновения с глубиной должно являться изменение его парциального давления при переходе воды в газовую среду, его лишенную.

Другой, не менее важной, причиной является связывание его в те подвижные равновесия, какими в водах являются сложные ионы, такие, как  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ . Эти кислородсодержащие ионы находятся во всех фреатических и ювенильных водах, нам доступных, или по отношению к которым можно делать заключения, опирающиеся на факты. Можно только заметить, что в ювенильных или глубоких фреатических водах исчезают ионы  $\text{SO}_4^{2-}$  и заменяются ионами  $\text{HS}^-$  и может быть появляются молекулы CSO (или связанные с ним ионы? Вместо  $\text{CO}_2$ ?). Растворенный кислород должен расходоваться на образование сложных кислородсодержащих ионов, заключающих кислород, и, может быть, этим объясняется исчезновение нацело растворенного кислорода.

237. Но само это исчезновение не является, повидимому, общим явлением. Оно наблюдается далеко не всегда. Обычно нахождение свободного кислорода в анализах объясняется ошибками наблюдателя или при взятии проб, или при анализе. Тщательное критическое изучение имеющихся анализов привело меня к убеждению, что это объяснение неприложимо к целому ряду случаев. Поэтому я ввожу в приводимые анализы и кислород. Неловкие тщательные анализы Ш. Мурэ и Лепапа (1923), в которых они приняли особые меры предосторожности при взятии проб, дали кислород в газах глубоких терм.

Явление это более сложно, чем мы сейчас думаем, и требует нового рассмотрения.

Открытие пластовых, сильно радиоактивных, вод заставляет думать, что есть радиогенное образование кислорода в глубоких слоях биосферы и ниже (§ 324).<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Надо внести поправки, кажущиеся пока несущественными, в то, что говорится о генезисе кислорода в томе I, § 240.

История кислорода для природных вод должна, учитывая все сделанные указания, выразиться сверху вниз следующей схемой:

Биосфера: Постоянно пополняемый жизнью источник кислорода: кислородные воды — вадозные воды.

Стратисфера: Быстрая потеря кислорода, благодаря прежде всего его диффузии в среду, его лишенную. Все воды отсюда и ниже чрезвычайно обеднены или лишены кислорода.

238. Все остальные газы помимо процессов, связанных с биосферой, с живым веществом ее населяющим, приходят в природных водах на земную поверхность и из земных глубин.

Среди них совершенно исключительное значение, сравнимое с кислородом, имеет углекислота. Это связано с ее всюдностью и с ее физическим и химическим характером.

За исключением верхней — холодной — части биосферы, где  $\text{CO}_2$  наиболее устойчива в жидком состоянии, она в газообразном состоянии не менее охватывает биосферу, чем свободный кислород. Ее химические свойства делают ее еще более химически активной в условиях земной коры, чем кислород. Углекислота при соприкосновении с водой и с ее химическими компонентами немедленно входит в целый ряд сложнейших химических реакций, находящихся в условиях подвижных равновесий.

Углекислота не ограничена одной геосферой, а охватывает всю земную кору или по крайней мере ее наиболее известную нам часть. Она, с одной стороны, играет огромную роль в химии биосферы, где она является источником, на котором строится вся жизнь получающая из нее подавляющую часть своих углерода и кислорода; а с другой — проникает стратисферу и метаморфическую оболочку и снизу постоянно поступает в биосферу. Понятно поэтому, что ее значение, взятое в целом, в строении планеты (и природных вод) значительно больше значения свободного кислорода.

Являясь основой жизни, она заходит глубоко на несколько километров, в среднем не менее 10 километров, от уровня океана в земную кору, повидимому определяя в значительной мере химизм и магматической геосферы.

Другими словами — вся область планеты, в которой находятся воды, доступные, в данный момент исторического хода знания, нашему точному научному изучению, лежит в пространстве, ею проникнутом.

Этим одним уже определяется значение ее в истории природных вод.

239. Углекислота в пределах температуры и давления этой области немедленно и стихийно входит в химическое соединение с водой — как с водой пресной, так и с водой соленой или рассольной.

Наши теоретические представления о характере химического взаимодействия между  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CO}_2$  — в пределах указанной среды — неполны и несовершенны, связаны с логически неразрешенными противоречиями, однако они все же позволяют нам для наиболее доступных вод, — всех вод биосферы, стратисферы и водных жил (минеральных источников) — дать научное объяснение, позволяющее — в первом приближении — выразить явление математически.

Два явления теоретически не проведены до конца. Во-первых, химический характер воды: вода в биосфере — в ее термодинамических условиях — является телом амфотерным (слабым основанием и слабой кислотой). Ее кислотность, как мы увидим, увеличивается с повышением температуры и для глубоких вод — и водяных паров в особенности — химические взаимодействия между  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  должны отражать происходящее резкое изменение химических свойств воды. Характер изменения этим путем вносимого нам неясен.

Все указывает, что  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  — уже в условиях биосферы — дают химические соединения, но при этом упругость паров углекислоты, входящей в соединение, не меняется для главной массы углекислоты, а иногда



и для всей углекислоты, находящейся в химическом соединении.  $\text{HCO}_3'$  — „ион“, создаваемый при этом химическом взаимодействии, — проявляет себя (по своему парциальному давлению в окружающей газообразной среде), как молекула газа  $-\text{CO}_2$ , — которая образуется при его диссоциации. Он легко разлагается, давая газ —  $\text{CO}_2$ .

Мы принимаем это в наших вычислениях как факт, хотя он противоречит общему понятию о химическом соединении. В океанической воде (§ 513) ионы  $\text{HCO}_3$  относятся к воздушной среде почти как растворенные молекулы газа  $\text{CO}_2$ .

240. С точки зрения классификации природных вод этот факт имеет большое значение, ибо в морской, океанической воде резко преобладает  $\text{HCO}_3'$  над  $\text{CO}_2$ . В зависимости от того, будем ли мы принимать углекислоту воды как находящуюся в растворе, или же не будем считаться с газовым характером иона  $\text{HCO}_3'$  в окружающей среде (полусвязанная углекислота), морская вода попадает в подкласс  $\text{N}_2 - \text{O}_2$  или же в подкласс  $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{O}_2$ .

Я вернусь к этому вопросу ниже (§ 753). Здесь же необходимо сделать несколько замечаний о современном представлении о химическом взаимодействии  $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2$ .

В природе значение этих явлений было впервые указано Пелиго (1855), и во всей грандиозности процесс был впервые охвачен, частью разрешен и поставлен на очередь дня Т. Шлезингом (1878) (§ 441). Он был приведен в форму, удобную для работы, когда уже в XX веке вошли в сознание представления об электропроводности вод, выяснилась константа  $P_n$  (ион  $\text{H}^+$ ) (§ 413, 466).

241. Оставляя в стороне то усложнение, которое вносится в наши рассуждения возможным образованием в водах соединений  $\text{CO}_2$  с  $\text{H}_2\text{O}$ , более богатых водой, чем  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , например, образованием  $\text{H}_4\text{CO}_4$  или  $\text{CO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  мы принимаем за исходное неизбежное образование в воде при вхождении в нее газообразной  $\text{CO}_2$  соединения  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , резко выраженной кислоты. Эта кислота  $\text{H}_2\text{CO}_3$  немедленно диссоциирует, давая  $\text{HCO}_3'$  и  $\text{H}^+$ . Диссоциация идет дальше, и  $\text{HCO}_3'$  диссоциирует на  $\text{HO}^-$  и  $\text{CO}_2$ .

В присутствии в воде металлов идут новые реакции. Образуются соли  $\text{MCO}_3$  и  $\text{MCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{CO}_3$ .

Они также электролитически диссоциируют, давая  $\text{M}^+$  и  $\text{CO}_3''$  и  $\text{M}^+$ ,  $\text{CO}_3'$ ,  $\text{H}^+$  и  $\text{HCO}_3'$ .

При вхождении и соприкосновении  $\text{CO}_2$  с  $\text{H}_2\text{O}$  вся вода — пресная и соленая — приходит в энергичное молекулярное движение, образуются разнообразные подвижные равновесия.

$\text{HCO}_3'$  и  $\text{CO}_2$  влияют на газовый обмен, так как каждая из них отвечает парциальному давлению одной молекулы  $\text{CO}_2$ . Вследствие этого в биосфере устанавливается поглощение водой  $\text{CO}_2$  из воздуха или отдача ее в воздух. То же в другой обстановке идет и в подземных водах.

Изменяются и другие физические свойства: все здесь идущие химические взаимодействия связаны с тепловым эффектом, и в то же время, благодаря образованию ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{HO}^-$ , резко меняется электропроводность растворов в зависимости от их количества. Электропроводность может быть измерена очень точно: мы выражаем ее в виде  $P_n$ ; на основании той или иной величины  $P_n$  можно судить о характере тех ионов, которые в данной воде находятся.

Я привожу дальше величины  $P_n$  для природных вод. Надо заметить, что, когда  $P_n$  меньше 4, бикарбонаты диссоциированы целиком, т. е. существуют только  $\text{M}^+$ ,  $\text{CO}_3''$ ,  $\text{H}^+$  и  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{CO}_2$ . Когда  $P_n$  достигает 9,12 и выше, свободная  $\text{CO}_2$  не может существовать, она вся в соединении.

Когда  $P_n$  меньше 8,35, карбонаты не могут в нем существовать, т. е. нет  $\text{CO}_3^{n-}$ , когда  $P_n$  больше 11,59, бикарбонаты не могут существовать — т. е. нет  $\text{HCO}_3^-$  — случай, для природных вод не наблюдаемый.

242. Эти свойства природных вод — и, в частности, сохранение парциального давления  $\text{CO}_2$  неизменным при нахождении ее в виде иона  $\text{HCO}_3^-$  — оказывают резкое увеличение поглощения  $\text{CO}_2$  природными водами в количествах, значительно больших, чем это вытекает из растворимости газообразной  $\text{CO}_2$  в химически чистой воде.

Источником углекислоты для поверхностных вод для океана и морей и всех вод суши — является тропосфера.

Но все эти воды пропитаны жизнью, и в них поступает и из них изымается угольная кислота биохимическими процессами.

Поэтому во всех природных водах существует еще более сложное равновесие, которое отражается и вне воды в воздушную среду, — чем то, которое изучается и дается физико-химиками.

Понятие о нем дает следующая схема (см. рис. 5).

243. Углекислота тропосферы, откуда поверхностные воды ее получают, — тройкого происхождения: 1) углекислота, выделяемая водами (равновесие вода  $\rightleftharpoons$  газ), 2) выделяемая наземными организмами и 3) углекислота, выделяемая из глубоких слоев земной коры — из вулканов, минеральных источников, грязевых сопок, газовых струй.

Генезис этой глубинной углекислоты не вполне ясен. Один источник несомненен, но неясно, объясняет ли он всю углекислоту, приходящую в биосферу из газовых струй и водных растворов глубоких областей земной коры.

Образование части этой углекислоты вполне объясняется изменением карбонатных — осадочных и метаморфических пород во время процессов метаморфизма и растворения магмой прилежащих известняков и доломитов.

В этом переходе карбонатов кальция (и магния) в силикаты и алюмосиликаты или в алюмосиликатовые магмы все нам известные выделения углекислоты в водах получают достаточное обоснование: это количественно процессы сравнимого порядка.

Углекислота эта в таком случае по существу — вадозного происхождения, так как исходные карбонатные породы почти все биогенного — морского — происхождения.

Однако неясно, можно ли придавать всей глубинной углекислоте такое происхождение. Для наиболее глубоких вод, связанных с магматическими процессами, например, в процессах, давших начало пегматитовым или конкреционным жилам (I, § 100 сл.), генетически связанным с петрогенезом массивных кислых пород, несомненно мы имеем дело во многих случаях с выделением минералов из вод, чрезвычайно богатых углекислотой, связанной, может быть, с первичной углекислотой магматических очагов. Такого же происхождения и углекислота — в одной своей части по крайней мере — вулканических и послевулканических явлений.

244. Изучение природных вод в связи с нахождением в них углекислоты указывает, что газообразная атмосфера, проникающая в глубокие слои

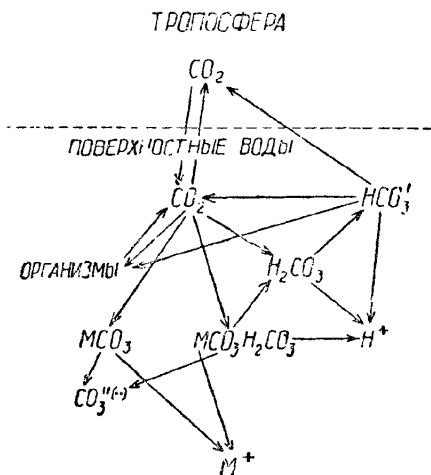


Рис. 5.

биосферы и статисферы, богата углекислотой: подземный воздух состоит в значительной своей части из углекислоты. Это явление начинается у самой земной поверхности.

Прямые наблюдения мы имеем для почв и для водных грязей.

Углекислая и углекислоазотная атмосфера, которая господствует в почвах (с кислородом) и особенно в илах (без кислорода), заставляет думать, что то же явление будет наблюдаться и глубже в биосфере за пределами кислородной поверхности и в стратисфере. Эта последняя атмосфера должна быть лишена или почти лишена свободного кислорода.

К сожалению, подземные газовые атмосферы земной коры не изучены. Глубокие газовые струи не дают материала, достаточно обширного, и имеющиеся данные не обработаны. Главный материал дают сами воды, их газовый режим в связи с их положением в вертикальном разрезе земной коры.

245. Нахождение углекислоты в глубоких скважинах, достигших напорных — пластовых вод, ставит перед нами загадки, которые мы не можем сейчас разрешить из-за отсутствия данных. Но все же необходимо наметить и поставить некоторые вопросы, связанные с нахождением углекислоты.

Прежде всего ясно, что углекислота в водах пластовых — верховодке и напорных водах — начинает резко преобладать, при чем явление имеет такой вид, как будто в стратисфере и в нижней биосфере начинает исчезать и азот, а не только кислород.

Это имело место и в газах Гренельской скважины в Париже, на которой явление было установлено впервые Пелиго (§ 698). Эти пресные воды с глубины 40 метров ниже ложа Сены заключали 23 куб. см газов на литр и имели состав  $96,4\% \text{CO}_2$  и  $3,6\% \text{N}_2$ , т. е. по весу  $4,32 \times 10^{-3}\% \text{CO}_2$  и  $1,25 \times 10^{-4} \text{N}_2$ . Кислорода в них не было. Надо думать, что водные горизонты, откуда идет эта вода, потеряли азот, может быть, благодаря его уходу в связи с парциальным давлением его в окружающей газовой атмосфере, но возможно и благодаря химическим процессам.

В верховодке мы имеем то же преобладание  $\text{CO}_2$  — по тем немногочисленным данным, какие мы имеем.

Как глубоко идет такая вода, богатая  $\text{CO}_2$ ? Встречается ли она с водой, содержащей фреатическую углекислоту или нет? Лежит ли ниже слой вод, бедных  $\text{CO}_2$  и содержащих только  $\text{N}_2$ ? Эти вопросы можно ставить, но ответа на них нет, так как газовых анализов подземных вод не делается.

Обилие углекислоты в верховодке и в напорных пластовых водах затрагивает и другой вопрос — о количестве углерода в земной коре. Углекислота подземных атмосфер в расчетах упущена. Если мы примем, что  $\text{CO}_2$  здесь будет около  $4 \times 10^{-3}\%$  по весу, то количество углерода в этой форме будет составлять заметную часть всего углерода.

Но все указывает, что есть воды, насыщенные и пересыщенные  $\text{CO}_2$ , идущие снизу, существование которых объясняет выделение углекислых струй. В таком случае этот пропущенный в исчислениях углерод еще поднимает общее его содержание в земной коре.

246. Во всяком случае несомненно существование фреатических и ниже-вадозных вод, бедных азотом, углекислая атмосфера которых состоит почти нацело из  $\text{CO}_2$ .

Но в целом ряде случаев мы наблюдаем воды, которые, на ряду с углекислотой, содержат в растворе азот и указывают на условия среды, дающие место нахождению обоих газов.

Эти воды частью находятся в пределах биосферы — воды вадозные, но частью — воды, поступающие из глубоких горизонтов.

Эти глубокие воды заставляют думать, что углекислотная атмосфера глубин сменяется при углублении подземной атмосферой азотной.

Вероятно и возможно, что в разных участках земной коры есть области, где воды встречаются главным образом углекислоту, и другие участки, где они встречаются азот.

И те и другие всегда богаты водяными парами. Подземная атмосфера будет водноуглекислая, водно-азотная и т. п.

Очевидно для водных растворов водный компонент подземной атмосферы входит в растворитель и для характеристики воды не важен.

Дело будущего разобраться в этом явлении; для этого необходим систематический и тщательный анализ газовых компонентов подземных вод.

Сейчас открывающаяся перед нами картина указывает на то, что мы имеем воды — на поверхности — углекисло-азотно-кислородные, ниже переходящие в углекислые, углекисло-азотные и наконец в азотно углекислые.

247. Обратимся теперь к нахождению азота. Преобладание его в тропосфере вызывает постоянное его присутствие во всех поверхностных водах, являющихся водами, богатыми азотом —  $N_2 - CO_2 - O_2$  и  $CO_2 - N_2 - O_2$ . Чисто азотных вод здесь нет.

Азотные воды, в которых нет ни  $CO_2$ , ни  $O_2$  в количествах того же порядка, что и азот, являются характерными для вод, идущих снизу, — для некоторых минеральных источников.

Азот есть тот газ, который, может быть, поступает в биосферу в водах (и газовых струях) из очень глубинных частей земной коры (I, § 241), доступных нам в термах.

Идет ли он очень глубоко в земную кору — мы, однако, сейчас утверждать не можем, так как в этих глубоких водах резко увеличивается содержание соединений азота, аммониевых. Я вернусь к этому вопросу в главе о геохимии азота.

Любопытно, что в связи с увеличением азота и с уменьшением или с исчезновением углекислоты идет появление метана — азотно-метановые воды.

Как будто вместо кислородсодержащих углеродных газов появляются водородсодержащие углеродные же;  $CH_4$  заменяет  $CO_2$ ?

248. Азотные воды наблюдаются не только для вод глубоких, за пределами биосферы. Часть их — вероятно, исключительно азотно-углекислые воды — могут быть вадозными.

Работа последнего времени, может быть для многих напорных подземных вод, для некоторых нефтяных вод, указывает с несомненностью на существование в них биогенных процессов, на их принадлежность целиком к биосфере. Это открытие анаэробных бактерий в водах глубиной до километра, а вероятно и больше, сделано Бастином в Америке и в Бакинском районе у нас Н. Г. Ушинским (1925–1926). Эта жизнь идет далеко за границы кислородной поверхности и резко меняет свойства вод.

Химические реакции этих вод главным образом характеризуются тем, что они идут в среде, лишенной свободного кислорода. В связи с этим, свойства этих вод отличны от растворов, к которым мы привыкли в наших лабораториях. Входя в биосферу, эти воды являются жадными поглотителями кислорода. Попадая в области выше кислородной поверхности, они вследствие этого нестойки и резко изменяются.

249. Происхождение азота несомненно глубоких вод — вод фреатических — неясно и, может быть, сложно.

В очень многих случаях этот азот происходит из тропосферы. Кислородные воды земной поверхности, теряя кислород (§ 563), перейдут в очень обычные, как указано, азотно-углекислые воды.

Но, очевидно, воды, связанные с вулканами, а в большей своей части и минеральные источники иного происхождения содержат азот другого происхождения, которое неясно.

По отношению к азоту есть еще одно обстоятельство, которое заслуживает серьезного внимания. Изучая газы минеральных источников,

Мурэ и Лепап выяснили, что отношение азота к благородным газам (кроме гелия) то же самое, какое наблюдается в воздухе. Отсюда они заключили, что это отношение создалось еще в космическую эру нашей планеты. Это очень распространенное утверждение, сейчас вызывает большие сомнения. Новые исследования свободно выделяющихся газов, газовых струй его не подтверждают. Также в вулканах такой простоты нет, а в минералах есть указания на азот без благородных газов. Вопрос требует переисследования — изучения растворенных газов и газов первичных минералов. Это надо сделать тем более, что вероятно существование глубинных азотных минералов, соединений, распадением которых получаемый азот не должен содержать благородных газов.

250. Таким образом все же ясно, что изучая количество растворенного азота в водах и определяя другие газы (особенно — учитывая растворенные благородные газы), есть возможность подойти к решению важных вопросов в истории природных вод, о которых сейчас можно только догадываться.

Очень важно обратить внимание на отношение „N/благор. газы“, о котором для растворенного азота мы ничего не знаем. Тем более, что для ксенона и криптона их водные растворы должны являться их максимальными концентрациями в земной коре.

Возникает еще один вопрос, требующий разъяснения, который может быть здесь только отмечен.

Есть анализы для минеральных источников, которые заставляют думать, что воды могут быть не насыщены в достаточной степени газами: азота может быть мало вследствие того, что другие газы —  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ , например, перешли в ионы, и общее количество газов в земной коре уменьшается с глубиной.

Это вопрос, который разрешит будущее.

251. Для сероводорода мы не имеем сейчас случаев, где он бы являлся господствующим газом. Чисто сероводородных вод мы не знаем.

Но азотно-сероводородные или углекисло-азотно-сероводородные подклассы для вод обычны.

И все же и для серовода ясно, что есть определенная связь его содержания с глубиной вод (от уровня океана).

Такие сероводородные воды по их газовому компоненту могут идти далеко вглубь земной коры. Для них не исключено ювенильное происхождение — в связи с теми данными, какие дает изучение истории сернистых металлов. Фреатические выделения вод этого типа очень обычны, хотя анализов газов их совершенно нет. Вадозные сероводородные воды более распространены, чем мы думали, так как азотные воды с бактериальным населением очень богаты  $\text{H}_2\text{S}$ ; как раз такие воды встречены при бурениях в нефтеносных областях на глубинах до километра и глубже (§ 248). Того же типа с сероводородом биохимического происхождения придонные воды озер и морей, нередко очень своеобразные (Черное море, § 761). Очень своеобразен  $\text{H}_2\text{S}$ , получающийся путем распада при окислении (химический процесс неизучен)  $\text{CSO}$ , когда воды фреатические — углекисло-азотные главным образом — попадают в слои выше кислородной поверхности.

В коре выветривания, в биосфере они изменяются еще быстрее азотных вод, так как, помимо поглощения кислорода растворением, они его поглощают, благодаря окислению сернистых соединений, давая ионы  $\text{SO}_4^{''}$ . Сероводородные воды в более глубоких областях аналогичны углекислым водам, являясь могучим агентом химических реакций. С ними связаны в своем происхождении многочисленные металлические тела, и характер их ионов во многом отличен от обычных ионов растворов, так как часть катионов  $\text{HO}'$  замещена катионами  $\text{HS}'$ .

Это распадение теоретически неясно.

Открытие глубинных сероводородных бактерий Н. Г. Ушинским и Бастином (§ 248) очевидно расширит область сероводородных первичных вод вадозного происхождения.

252. Группа углеводородных вод наименее изучена не только с точки зрения количественных в ней существующих — в водных растворах — соотношений, но и с качественной точки зрения.

Среди углеводородов преобладают по нашим современным знаниям предельные углеводороды — метан, этан, вероятно бутан и пропан. По мере увеличения температуры пластовых вод, где они часто наблюдаются — разнообразие углеводородных газов увеличивается; едва ли для них дело ограничивается одними предельными углеводородами. В нефтях, богатых нефтенаситыми или ароматическими углеводородами, неизбежно должны входить в раствор в сопровождающие нефти воды и углеводороды этого рода. До сих пор это не отмечено, насколько знаю, в научной литературе.

Все богатые углеводородами пластовые и поверхностные воды теснейшим образом — прямо или косвенно — связаны с явлениями жизни.

Можно сейчас уже выделить здесь два случая: 1) биохимические процессы, связанные с поверхностными (болотными) и подземными почвенными (рисовые поля, например) и иловыми (грязевыми) водами, дающие начало метану, 2) более сложные углеводородные воды, связанные с метаморфизацией остатков организмов, с образованием нефтей, углей и т. п. Едва ли сейчас можно сомневаться в биогенном метаморфическом процессе образования всех больших нефтяных залежей. Для напорных нефтяных вод помимо метана господствуют иногда этан, возможно пропан, бутан,

Но далеко не всегда углеводороды вод связаны с жизнью.

Есть метан, поднимающийся из более глубоких частей земной коры. Возможно, что и этот метан связан с процессами метаморфизации остатков живого вещества, происходящими в стратифере и ниже. Но такое объяснение образования всех углеводородов было бы преждевременным и вероятно ошибочным. Есть указания на более общий процесс с глубиной: замену  $\text{CO}_2$  углеводородами.

Именно для метана исключительная связь с жизнью сомнительна, так как этот легкий газ имеет свойства, напоминающие водород. Известные его синтезы в лаборатории чрезвычайно разнообразны и часто независимы от органических соединений. Аналогичные процессы должны идти в магмах. Метан наиболее совершенный, труднее всех углеводородов сжимаемый газ.

Биогенный — в прямом смысле — метан природных вод во многом в своей истории аналогичен истории  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$  того же происхождения.

Совершенно особенными являются углеводородные газы пластовых вод нефтяных месторождений, которые, вообще, во всей своей истории и в своем химическом составе стоят отдельно от прочих пластовых вод; это — воды почти всегда соленые, реже пресные (солончатые) и слабые рассолы (§ 861). Возможно, что по крайней мере часть их, связанная с генезисом самих нефтей, является метаморфизованной поверхностной водой одного с ними процесса. Во всяком случае эти воды являются результатом взаимодействия между подземной водой и нефтью, и содержат включения нефти. Так как воды эти часто горячи —  $50^\circ\text{C}$  и выше (есть выше  $80$ — $90^\circ\text{C}$ ), то часть обычных жидких углеводородов нефти (например, бутан и др.) переходит при этих условиях в газообразное состояние, дающее газовый раствор, неустойчивый при более низких температурах. Эти растворы не изучены.

Есть метановые воды с резким преобладанием среди газовых компонентов метана. Может быть такие подклассы не редки. Для других углеводородов отмечены только их комбинации — с метаном, углекислотой, азотом

Обилие минеральных источников (водных жил), выделяющих углеводороды, указывает, вероятно, на особый тип вод с первичными углеводородами. Но для решения этого вопроса необходимо нахождение их в водном растворе (чего пока нет) и уверенность в независимости таких минеральных источников от пластовых вод.

253. Несомненно есть случаи водородных вод, связанных, повидимому, не с биосферой, а с более глубокими земными оболочками. Это — воды, в которых растворенным газом, по весу господствующим или одного порядка с господствующими газами, является свободный водород. Можно только их отмечать и ждать достаточного накопления данных. Это — воды, связанные с магмами и вулканическими процессами. Не исключена возможность таких вод и в пределах биосферы.

254. Можно с уверенностью сейчас утверждать, что рассмотренные газы (см. I, § 100 сл.) не охватывают всех газовых компонентов.

За пределами нашего непосредственного изучения в глубоких областях земной коры — в областях фреатической и ювенильной — наблюдается одновременно с указанными выше газами (за исключением кислорода) присутствие еще других —  $\text{CO}$  и, должно быть,  $8\text{CSO}$ , не говоря о более редких (как, напр., производные муравьиной кислоты). Они могут являться компонентами водных растворов, там находящихся.

Среди этих газов нельзя не обратить внимание на тиоуглекислоту —  $\text{CSO}$  — так как это единственный из найденных в природных водах газов, который не вполне доказан в биохимических процессах.

Газовые равновесия богатых водою магм, например пегматитовых жил, выводят нас из области водных растворов в новую малоизвестную богатую газами (в том числе парами воды) область магм (§ 296 сл.).

255. Теоретически ясно, что подклассы вод, выделенные по газовым компонентам, при той тесной связи, какая наблюдается в господстве разных газов в определенном вертикальном распределении геосфер, должны иметь основное значение в классификации вод.

К сожалению, запущенность изучения этих явлений в научной работе не позволяет фактически провести такое рассмотрение, и приходится к нему только стремиться.

Сколько возможно, я это делаю в этой книге. И при таком неполном охвате явления все же ясно, что газовые подклассы выдерживаются и в классах вод (по концентрации) и в больших подгруппах природных вод (выделенных на основании фазовых состояний воды).

При подразделении на подклассы, удобно обращать внимание на господствующие газы, хотя бы их было несколько. Где нужно, более мелким подразделением подкласса будет ряд (§ 335).

256. Из других компонентов классификационное значение имеют еще твердые компоненты — твердые тела, переходящие в раствор при соприкосновении с водой.<sup>1</sup>

Эта способность воды переводить ряд твердых тел в жидкое состояние в течение веков возбуждала научную мысль. Наши современные представления о состоянии вошедших в водный раствор твердых компонентов сводятся в конце-концов к двум основным представлениям, которые сложились приблизительно одновременно в 80-х годах прошлого столетия в двух теориях растворов — Св. Аррениуса и Д. И. Менделеева (§ 444 сл.). Аррениус допускал электролитическое разложение при растворении твердых компонентов — гидролитическое разложение. Молекула сама, растворяясь, распадалась на заряженные разного знака электрическими зарядами атомы или комплексы атомов (ионы).

<sup>1</sup> Я оставляю в стороне жидкие компоненты. Они большей частью не попадают в обычный солевой остаток и улетают при кипячении воды. Их значение в истории многих природных вод (например, в нефтяных буровых водах) гораздо более значительное, чем это обычно думают. Они требуют изучения.

Д. И. Менделеев представлял себе раствор как присоединение молекул воды к молекулам растворяющегося твердого тела — образованием жидких гидратов, сливающихся с массой воды, которая сама состоит из сложных совокупностей молекул, отвечающих формулам  $(H_2O)^n$ . Долгое время эти оба представления исключали друг друга, но сейчас они оба необходимы для научного выяснения того сложного явления, каким является природный водный раствор.

Изучение химически чистой воды — или почти химически чистой — указало на существование в ней одновременно обоих явлений, предполагавшихся Аррениусом и Менделеевым, — во-первых, распадаения некоторых молекул воды на составные ионы ( $H^+$  и  $HO^-$ ) и, во-вторых, соединения других ее молекул в сложные комплексы  $(H_2O)^n$ .

То же самое — одновременное присутствие обоих явлений — надо допустить и для твердых компонентов, образующих жидкий раствор при взаимодействии с водой.

257. По нашим современным представлениям эти компоненты будут наблюдаться в растворах или в виде ионов или в виде гидратных комплексов в связи с концентрацией раствора. В рассолах мы имеем дело почти исключительно с гидратными группами, в разведенных, пресных водах — с ионами.

Ионы заряжены положительно или отрицательно и находятся в непрерывном движении, независимые друг от друга. При концентрации раствора ионы соединяются между собою. Начинают выявляться здесь образования напоминающие кристаллические сетки, однородного твердого вещества. Молекулы воды в них не входят.

Надо иметь в виду, что все такие представления, несмотря на все их удобство в работе иногда и на их большую значимость в наших количественных выводах, всегда заключают значительную долю гипотезы и схемы.

В них, например, не отражается разнородность самого растворителя, в данном случае воды (§ 181).

Сложный характер воды отражается несомненно и на тех сложных гидратах, которые могут образовываться в равновесиях рассолов и богатых солевым остатком соленых водах. Но эти законности не выяснены.

Эта сложность наших представлений и невозможность опытного решения строения раствора — количества его ионов, характера и количества одновременно находящихся гидратных комплексов — в огромном большинстве случаев не позволяет, как это обычно делается, брать в основу наших представлений и научной классификации вод эти, еще лишь качественно — и то не вполне — выяснившиеся, выражения их состава.

Мы можем точно выразить лишь одну часть явлений из двух (ионы) и то только в некоторых случаях, в том числе для ряда обычных пресных вод. Для огромного большинства случаев все наши выражения гипотетичны, — можно без всякой натяжки утверждать, что они фиктивны.

Для полной научной классификации надо их отбросить. В связи с этим я не буду пользоваться этими выражениями и в тех случаях, когда это возможно, — в случаях вод пресных и солоноватых.

Еще меньше можно пользоваться другим выражением состава вод — с помощью эквивалентных чисел (неправильно называемых американскими гидрохимиками геохимической характеристикой природных вод).

Удобная для решения некоторых практических задач, главным образом для пресных и слабо соленых вод (§ 446), она разделяет все недостатки ионной классификации, прибавляя новые, ибо, стремясь к быстрой работе, она не стремится к углубленному исследованию явления, довольствуясь первым грубым приближением. Увлечение этим приемом исследования мне представляется большой ошибкой. До сих пор научное значение ее невелико, и не видно улучшения в этом отношении. Попытки



выявить этим путем происхождение вод — их связь с морскими отложениями или с массивными породами — едва ли выдерживает научную критику.

Эта классификация является недостаточно широкой базой для охвата всех природных вод.

258. В основу должен быть положен признак, который не только охватывал бы весь солевой остаток без исключения (а не только солевой остаток пресных вод и крепких рассолов), но в то же время мог бы одновременно охватить, в случае надобности, и газовые и другие компоненты, входящие в природный раствор.

Геохимия дает такой всеохватывающий признак в весе и в количестве атомов, заключенных в растворе, в том числе и в солевом остатке. Выражая этим путем „солевой“ остаток, мы получаем широкую и удобную базу для всех заключений.

Она позволяет точно определять — в подавляющем большинстве случаев — и тот химический элемент, который не охватывается — при современном химическом анализе — прямым определением, но который имеет такое огромное значение (§ 235) — подвижный, активный кислород.

Он входит в ионы и в гидратные комплексы; кислорода (и водорода) гидратных комплексов, т. е. связанных с растворенными телами молекул воды, мы при этом не учитываем. Солевой остаток охватывает только элементы вне молекул воды.

259. Совершенно ясно, что на ряду с солевым остатком одинаковым образом могут быть выражаемы и все другие компоненты, при атомном их исчислении.

Так от ионов отличны, но могут быть просто выражены в весовых или атомных процентах химические элементы, которые находятся в рассеянном состоянии — будут ли то растворенные их атомы, молекулы, или распадающиеся атомы и т. п.

Это — сложные явления, может быть разнородная группа явлений, по отношению к которой мы не имеем еще вполне точной удобной для научной работы логической модели.

В каком виде, например, во всех водах находится иод или радий, которые легко могут быть выражены в весовых процентах — элементы, находящиеся в рассеянном состоянии?

Если часть иода находится в виде ионов  $J'$  или  $JO'$ , то не может в таком виде находиться весь иод, т. к. иод выделяется из воды в газообразном состоянии, т. е. в виде незаряженных атомов или молекул, пары иода к тому же растворяются в воде; свести их к газовым растворам едва ли возможно, — на это нет никаких данных. Элементарный иод растворяется иначе, чем ион иода. Так, например, часть иода в соляных буровых (нефтяных) водах в Бакинском районе растворяется в хлороформе, чего не делают его ионы (В. Т. Малышек).

Таковы и другие случаи, например, нахождение хлора в свободном состоянии в водах (напр., по Ланеррину, в рассольных и соленых водах Сахары, где воды являются вследствие этого ядовитыми).

Я вернусь к этому вопросу в главе о геохимии природных вод.

260. Самое простое — и в то же время в полном соответствии с фактами — будет выражать эти рассеянные элементы только в весовых или атомных процентах, не предпреляя дальнейшего уточнения форм их нахождения.

Среди всех таких отдельных атомов особое значение получают сейчас радиоактивные элементы, при чем определенное количество этих находящихся в водных растворах атомов находится в распаде, а часть при этом здесь же создается. В каком состоянии находятся атомы урана, радия или радона, быстро или медленно разлагающиеся или зарождающиеся? Можно, кажется, утверждать, что это не ионы в обычном понима-

нии этого слова. Количественно в процентах мы можем выражать их точно и четко, и этим пока должны удовлетворяться.

Радиоактивные атомы в водных растворах являются центрами изменения раствора и этим приобретают для истории природных вод огромное значение.

Особенно радий и радиевая эманация должны сейчас привлекать к себе наше внимание, т. к. энергия, выделяемая при распадении и создании их атомов, так велика, что она должна разрушать молекулы воды—создавать молекулы  $H_2O_2$ ,  $O_2$  и  $H_2$  вместо  $(H_2O)^a$

Очень возможно, что в конце-концов этим путем будут образовываться такие неустойчивые состояния растворов, которые не допустят образование богатых радием растворов,—будут происходить взрывы и распыление растворов. Может быть найдется здесь ключ к объяснению сложных и важных магматических и вулканических явлений. Наибольшие количества радия наблюдаются до  $10^{-8}\%$  (в пластовых соленых нефтяных водах—§ 861 сл.), наибольшие количества радона—в поверхностных и пластовых водах, связанных с выветриванием урановых руд—до  $10^{-11}$ — $10^{-12}\%$ .

Пределы содержания этих элементов нам пока неизвестны.

261. Точно так же легко могут быть выражены—в процентах веса или числа элементов—и коллоидальные дисперсные компоненты вод (по крайней мере в огромном большинстве случаев), газовые компоненты и компоненты жидкие.

Наконец, так же можно определять и более грубые составные части раствора—механические мути от коллоидальных, грубо дисперсных, систем до видимой глазу ясной механической мути, которая так же, как и все остальные компоненты природных вод, не является случайной и характеризует некоторые природные воды, реки и озера.

Наконец в той же форме—в весе сторонних молекулам  $H_2O$  элементов—может быть выражено и живое вещество—живые организмы, проникающие большинство природных вод и являющиеся могучим фактором их равновесий.

Для микроорганизмов это имеет место всегда, ибо неизбежно при анализе вод получается их состав вместе с другими компонентами (например, состав бактерий, населяющих воды), так как при анализе не отделяют нацело микроорганизмы от водного раствора,—это работа слишком дорогая, длительная, сложная и не всегда возможная.

Эта общность единого для всех компонентов способа количественного их выражения и независимость его от меняющихся теоретических представлений заставляет держаться его при нашем изложении. Мы будем выражать воды в весовых или атомных процентах элементов.

262. Во всем дальнейшем изложении, стоя на почве такого геохимического выражения состава воды, я буду, когда на это есть научные данные, указывать и на ионы, и на гидратные комплексы, на мицеллы, газовые и жидкие молекулы, которые вероятны или несомненны в данной природной воде.

Но при классификации я этого касаться не буду и буду учитывать только атомный или весовой процент данного химического элемента и принимать во внимание для обозначения воды преобладающие химические элементы.

Число этих элементов очень невелико (§ 264). Можно по этому признаку выделить относительно немного различных природных вод, т. е. эти—немногие из многих—преобладающие в составе воды компоненты дают между собою ограниченное число комбинаций. Преобладают компоненты, большей частью отвечающие распространенным химическим элементам, число которых тоже не очень велико.

Надо однако иметь в виду и всегда вносить мысленно поправку, что та относительная простота явления, которая этим путем вскрывается,

может быть не отвечает всей природной воде, а присуща лишь верхним водам планеты.

Огромное большинство если не пресных вод, то соленых вод и рассолов нам не известно и не доходит до земной поверхности, не может существовать в нашем термодинамическом поле, в нем неустойчиво, а потому мы не можем его непосредственно исследовать.

О характере этих растворов можно заключать только на основании изучения минералов, образующихся из водных растворов в метаморфических оболочках.

Сейчас сделать это точно мы не можем. Однако несомненно, что состав этих растворов должен меняться очень значительно с глубиной, и очень возможно, что переход в магмы происходит постепенно.

Трудность точного определения состава солевой массы этих глубоких рассолов связана с тем, что мы можем изучать только продукты, минералы, выделенные из этих растворов. Они только отчасти выпадают прямо из растворов, частью образуются, благодаря химическим реакциям между разными одновременно присутствующими в растворе компонентами; часть их связана с действием растворов на окружающие твердые вещества водовместилища. Далеко не всегда возможно точно разделить среди минералов тела такого разного происхождения и иметь понятие о составе раствора, из которого они выделены.

Нельзя не отметить, что для рассольных вод нет определения элементов, находящихся в небольших количествах, в сколько-нибудь значительном числе образцов вод, сравнимом с водами пресными и солеными.

✓ 263. Однако несомненно, так как это доказано опытами, что многие алюмосиликаты, например, полевые шпаты —  $K_2Al_2Si_6O_{16}$  и др. — могут выпадать из горячих водных растворов (или золь) при значительном давлении; точно так же прямо из растворов выпадают многочисленные сернистые, мышьяковые, сурьмяные металлические тела.

В числе фреатических и ювенильных вод, достигающих земной поверхности, нам доступных, нет растворов, которые отвечали бы условиям выпадания этих тел.

В отвечающих им глубинных рассолах, температура которых превышает  $150-300^\circ$  и которые переполнены газами, растворенными при давлениях сотен и тысяч атмосфер, — и компоненты и газы должны быть иные, чем в доступных нашему непосредственному изучению природных рассолах.

Среди газов роль таких тел, как  $SiF_4$ , HF, HCl, должна быть иногда преобладающей. Среди компонентов металлы, как Pb, Ag, Cu, Ni, Fe, Co, должны играть крупную роль, так же как As, Se, Sb, S и т. п. С другой стороны, должны встречаться соленые растворы или золи алюмосиликатов, феррисиликатов, борсиликатов и т. п.

Включение этих фреатических и ювенильных вод в классификацию есть дело будущего.

Несомненно, однако, что и сейчас возможно было бы в некоторых случаях точно установить состав этих своеобразных вод, если бы только подверглись анализу те своеобразные рассолы, которые местами встречаются (обычно в малых объемах) во время рудных разработок и в метаморфических и магматических породах.

К сожалению, этого почти нет. В частности среди этих вод точно не установлены пока воды, из которых выделялись бы из раствора алюмосиликаты.

264. В доступных сейчас химически изученных водах, в многих десятках тысяч химических проб во всех местах биосферы и в прилежащих к ней участках земной коры наблюдаются очень немногие химические компоненты для господствующих по весу химических элементов.

Таковыми компонентами мы будем считать те, весовое количество которых будет не меньше 5% всего солевого остатка, обычно много больше. Господствующие химические элементы ясно определяются при принятии здесь выражений анализов; это первые элементы по порядку концентрации; они выявляются при рассмотрении чисел анализов скачком среди остальных; скачок наблюдается или в порядке или в коэффициенте.

Такого рода элементами будут O, H, N, Zn, Ca, Fe, Na, Mg, Al, Cu, K, S, C, P, Si, Cl, B, Br, Mn, Mo — всего 20 элементов.<sup>1</sup>

По отношению к ионам это будут следующие тела.<sup>2</sup>

Катионы:  $Zn^{1-3}$ ,  $Ca^{1-2-3-4}$ ,  $Fe^{1-2}$ ,  $Na^{1-2-3-4}$ ,  $Mg^{1-2-3-4}$ ,  $H^{1-2-3-4}$ ,  $Al^2$ ,  $Am^2$ ,  $Cu^4$ ,  $K^4$ , Mn.

Анионы:  $SO_4^{1-2-3-4}$ ,  $HCO_3$  (или  $CO_3$ )<sup>1-2-3-4</sup>,  $HS^{1-2}$ ,  $PO_4^1$ ,  $SiO_3^{1-2}$ ,  $Cl^{1-2-3-4}$ ,  $NO_3^{2-3}$ ,  $B_4O_7^{2-3}$ , Br,  $MoO_4$ ,  $H_2SiO_3$ .

265. Есть правильности в распределении ионов и элементов в разных геосферах, очевидно, указывающие на очень основные проявления истории воды.

Я коснусь более подробно этого в главе о геохимии природных вод; сейчас, однако, отмечу некоторые основные черты.

Для элементов характерно увеличение кальция, реже магния и уменьшения натрия в глубинных подземных водах.

Ион  $CO_3$  увеличивается в стратисфере, но, повидимому, начинает уменьшаться в более глубоких частях, в метаморфической оболочке.

Очень ясно и резко идет уменьшение с глубиной иона  $SO_4$ . Это, повидимому, такой же поверхностный компонент вод, каким является газовый компонент  $O_2$  в биосфере.

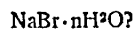
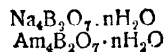
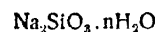
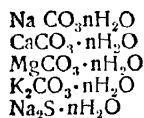
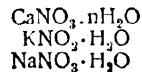
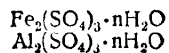
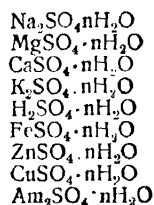
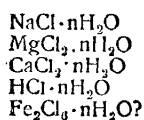
Ион  $SO_4$  заменяется на глубинах ионами  $HS$ . Это одно из самых характерных явлений в химической структуре земных вод.

Очень своеобразно отражается вертикальное распределение вод в истории азота, — здесь с глубиной начинает играть заметную роль ион  $NH_4$ . История азота в природных водах дает ряд важных наведений с точки зрения глубинных изменений водных растворов.

266. Несомненно между указанными компонентами — ионами — возможны многочисленные сочетания, обуславливающие разнообразие природных вод. Повидимому, наиболее разнообразны по составу химических компонентов солоноватые — слабо соленые — воды.

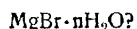
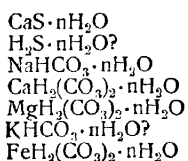
Однако, число реально наблюдаемых сочетаний ничтожно по сравнению с математически возможными. Из допустимых квадрильонов едва ли существует 2000 и известно до 500 (см. § 354 сл.).

267. По отношению к молекулярным (электрически инертным) комплексам это будут тоже немногие тела, которые можно выразить с большой вероятностью в следующих формулах:



<sup>1</sup> Следующие элементы, может быть, при дальнейшем исследовании присоединяются к данным: V, Cr, Co, Ni, As, Sr, Ba, J.

<sup>2</sup> Здесь обозначают: 1 — пресные воды, 2 — солоноватые, 3 — соленые, 4 — рассолы.



Очень возможно, что эти комплексы соединены между собою уже в жидком состоянии. Мы знаем, что при испарении природных вод выделяются многочисленные двойные соли, господствующие из которых состоят из комбинаций указанных выше комплексов.

268. Точно так же очень мало разнообразно число компонентов жидких и число мицелл тех золь, которые входят в состав природных растворов.

Для жидких компонентов мы имеем исключительно один класс — органических соединений так или иначе биохимического генезиса.

Для них является возможным, что они дают не растворы, а золи.

В природе эти тела играют очень большую роль. Кроме характерных и для золь органических компонентов — мицеллами являются иногда (в пресных водах) кремнезем и, может быть, гидраты окиси железа и алюминия.

269. Таким образом, ни жидкие компоненты, ни мицеллы не изменяют общей картины однообразия явления при возможности, казалось, чрезвычайного различия.

Из бесконечного количества возможных и известных в природных водах ионов господствующими являются всего 21 (возможно 29), при чем некоторые из них очень редки. Едва ли дальнейшее более внимательное изучение много увеличит это число, едва ли его удвоит, например.

Точно так же из необозримого количества гидратов, которые могут давать нам эти катионы и анионы, мы имеем всего около 30 их типов в природных рассолах и соленых водах.

И всего два-три типа мицелл дают наблюдаемые золи.

Из возможных множеств их комбинаций едва ли встречается немного сотен.

### 3. Несколько соображений об энергетике природных водных растворов в земной коре

270. Из предыдущего совершенно ясно, что природные водные растворы не являются инертным телом в земной коре. Они являются в ней активными носителями огромной энергии и производят в ней огромную работу.

Вся земная кора проникнута энергией и работой. Она изучается прежде всего в геологии, и я в этой книге могу ее только коснуться.

Но есть одна сторона явления природных вод, которая теснейшим образом связана с энергетическим охватом земной коры, — это их геохимия. Она не затронута геологической мыслью и по существу входит в цикл минералогического изучения. В дальнейшем изложении — в отдельной главе — я останавливаюсь на геохимии природной воды более подробно и пытаюсь дать синтез наших современных знаний.

271. Как все вопросы динамической (или физической) геологии, и деятельность воды не охвачена количественно, как единое явление, и не выражена в одной мере. Очевидно, такой мерой может быть только та или иная мера энергии.

Энергетика земной коры — есть та проблема, которая стоит сейчас перед геологом. Для ее создания уже собран огромный эмпириче-

ский материал, он не сведен и не учтен, он разбросан. Ясно, что одна его сводка, когда она будет сделана, укажет пути, по которым должна пойти научная работа, для того чтобы опытом и наблюдением заполнить недостающие звенья.

Энергетика земной коры должна дать на фоне количественного учета разнообразных масс, которые составляют земную кору, и их физической и химической количественной характеристики картину численно выраженного распределения свойственной им энергии. Она должна научно выразить в энергетическом облике — в общем и в частности — движение этих масс, их равновесия — энергетический механизм земной коры.

В этом механизме огромное, первостепенное значение имеют водные растворы. Но мы не можем сейчас его выяснить, так как энергетический учет не охватил еще геологической мысли.

Огромная область относящихся сюда явлений находится в неразработанном виде и мало обращает на себя внимание исследователя.

Можно лишь наметить некоторые основные черты энергетического механизма, в который входят природные воды. Их точное количественное выражение — дело будущего.

272. В каждом природном растворе можно различить следующие проявления энергии, местом которых он является. Во-первых, надо учитывать внутреннее энергетическое равновесие, какое представляет сам раствор, состоящий из многочисленных компонентов, среди которых обращают на себя наше внимание — по своему значению — электрически заряженные ионы, гидратные комплексы, газовые молекулы, живые организмы, коллоидальные мицеллы. Это область геохимии воды, поскольку мы изучаем миграции всех этих компонентов, передвижение их масс, их равновесие.

Во-вторых, надо отделять проявления растворов извне в окружающую среду, с одной стороны, и испарение растворов — уход из раствора молекул воды — поддерживающее их непрерывную связь с газовой атмосферой планеты — с другой, выпадение твердых компонентов — выкристаллизация растворов, химические взаимодействия, следствием которых она является, свертывание или образование сгустков, биохимические твердые выделения.

И наконец, надо отмечать охват и изменение раствором окружающей его среды — проникновение им атмосферы и повышение ее химической активности, растворение и гидратацию твердых тел водовместилищ.

Эти воздействия проявляются всюду. В биосфере ярко выступают в водных растворах тела, созданные жизнью. Жизнь вносит в своеобразной форме энергию солнца во всякий водный природный раствор. Она автономно нарушает устанавливающееся в нем физико-химическое равновесие, вызывая огромной важности новые явления. В энергетическом охвате она может быть сведена к той же единице — мере энергии, как и все другие свойства раствора.

273. Есть резкое различие в проявлении этих форм энергии. Внутренняя энергия раствора, поддерживая динамическое физико-химическое равновесие, которое он составляет, существует все время, меняясь в своей величине — пока существует раствор: она выявляется в энергетике геохимических миграций. Это — область частичных и химических сил воды и ее компонентов.

Энергия природных газов с ней теснейшим образом связана и от нее неотделима. Испарение водных масс — переход воды в газ — является наиболее яркой формой этой связи.

Замкнутые растворы, не сообщающиеся с окружающей газовой средой, являются исключением. Большие водовместилища, не сообщающиеся с газовой средой, неизвестны. Мелкие поры — часто микроскопические —

в горных породах ничтожны по весу (несмотря на их распространенность в некоторых участках коры) в общей массе воды. Лишь для волосных растворов и для части подземных вод испарение сходит на нет под влиянием частичных сил. Выделение твердых компонентов происходит в природных растворах только в случаях достижения раствором определенной концентрации, или же в биосфере при воздействии живущих в растворе организмов.

Если каким бы то ни было способом в данном растворе испарение его не уравнивается притоком равного количества воды извне, то через определенное время неизбежно данный раствор перестанет существовать: часть его содержимого, главным образом воды, испарится, а его компоненты в новых комбинациях (с частью воды) дадут новые твердые минералы.

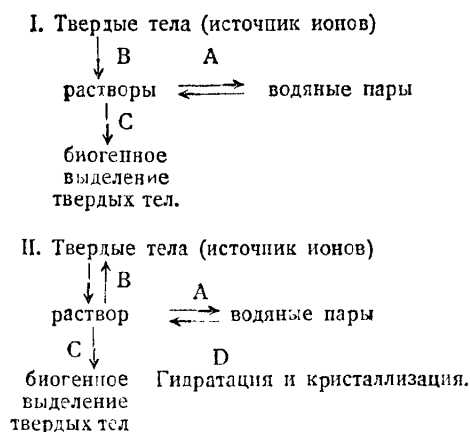
Вся энергия, свойственная данному раствору, может быть учтена, если мы можем количественно энергетически учесть пар и те твердые соединения, которые в результате былого существования раствора будут получены.

274. В связи с этим в окружающей нас природе можно различать два состояния растворов:

1) Растворы, которые находятся в длительном устойчивом динамическом равновесии. Испарение уравнивается непрерывным притоком воды или сгущением водяных паров. Твердые компоненты или совсем не выделяются или же выделяются биохимическим путем, постоянно воссоздаваясь в процессе водной жизни. Раствор существует, благодаря непрерывному притоку поддерживающей его существование внешней энергии, или временами возобновляющей потерю от испарения, или непрерывно ее не допускающей.

2) Растворы, которые находятся в стадии замирания, увеличения концентрации, усиления выделения твердых компонентов. При достижении определенных концентраций и жизнь в них замирает или ослабляется раньше их окончательного замирания. В известное, вероятно строго определенное в каждом частном случае время эго замирание закончится, раствор перестанет существовать, вся его свободная энергия превратится в работу, а твердые компоненты дадут массы, обладающие только потенциальной — химической — энергией.

Обе эти формы состояния растворов могут быть выражены следующими схемами:



275. Первая форма — в разнообразном проявлении — может существовать неопределенно долгое время. Приток внешней энергии, поддерживающей равновесие, совершается в процессе А.

Среди таких равновесий наибольшее значение имеет всемирный океан, захватывающий главную массу воды и существующий в готовом виде

с начала доступной нашему изучению геологической летописи — с археозоя — непрерывно, до двух миллиардов лет.

Как мы видели (§ 26, 70), для ряда таких же меньших равновесий непрерывное существование установлено с меловой и третичной эпох.

При ослаблении или прекращении процесса А они переходят в форму вторую и заканчивают свое существование.

Для океана, по своей массе имеющего планетный характер, силой, поддерживающей равновесие, является энергия Солнца.

Равновесия — такие, как реки, озера, минеральные воды и т. п. — в ходе геологического времени переходят во вторую форму состояния растворов, в стадию замирания; исторически или геологически длительно они прекращаются как растворы, давая твердые соединения компонентов и испарением теряя воду.

Но исчезая в одном месте, такие же растворы создаются в другом, и в каждое данное время существуют в земной коре все те же их различия. Неясно, не является ли постоянным количество воды, ими удерживаемой.

276. В окружающей нас природе мы одновременно можем наблюдать самые разнообразные стадии зарождения и замирания растворов и в то же время длительные, представляющиеся нам прочными и стойкими — и возможно в течение тысячелетий и сотен тысячелетий такими действительно являющиеся — первые формы состояния раствора.

И в то же время вся окружающая нас земная кора проникнута твердыми минералами, образовавшимися из бывших водных растворов — вод поверхностных, подземных, вадозных, фреатических.

Если с энергетической точки зрения первые формы (I) вод (§ 274) можно считать проявлением современной энергии — Солнца — подобно живому веществу, — то прошлая энергия второй формы (II) вод может быть определена на основании той потенциальной энергии, которая получается в результате окончания процесса — тех соединений, которые в твердом виде выделены, и тех масс водяных паров, которые ушли при их образовании.

Мы имеем здесь законченные круговые процессы, в которых количественно в элементарном составе исходное и начальное твердое вещество одинаково, но комбинации химических элементов различные.

Изучение этих явлений с этой точки зрения есть дело будущего.

277. Основным источником энергии раствора, производящей работу в земной коре, является химическая энергия, проявляющаяся в термодинамических условиях земной среды в работе: в переходе огромного числа атомов соприкасающихся с водой веществ — их миграции — в водную среду и из водной среды.

Учитывая количество этих атомов, можно количественно охватить огромную геологическую работу, производимую природной водой. Пока можно дать ясное, хотя и неполное о ней представление, но необходимо достигнуть точного количественного выражения. Это — дело ближайшего будущего.

Для морской воды соляная масса составляет, по весу, исходя из данных Ф. Кларка и Д. Джоли,  $4,6 - 5,1 \times 10^{22}$  грамм. Если бы концентрация водных растворов для всей земной коры была та же, то это число повысилось бы до  $6,6 - 7,3 \cdot 10^{22}$  г. Но, вероятно, средняя концентрация вод земной коры много больше концентрации океанической воды. Хотя мы наблюдаем значительные количества пресной воды с концентрацией меньше 0,1%, но в общем в ней должны преобладать рассолы, может быть очень концентрированные. Рассолы, устойчивые в нашей термодинамической оболочке, достигают концентрации до 36—40, более глубокие содержат, должно быть, еще больше солевого остатка. Поэтому едва ли будет ошибочным признать, что природная вода земной коры (до глубины 20 километров) держит в растворе в каждый данный момент



количества сторонних элементов порядка близкого к  $n \times 10^{23}$  может быть,  $n \times 10^{24}$  г.

Хотя океан захватывает примерно половину (больше) всей воды земной коры, однако, судя по быстрому увеличению концентрации растворов с глубиной, не в нем будет находиться главная масса вещества, захваченного водными растворами в химической связи.

Учитывая вес земной коры — до 20 километров — в  $3,25 \cdot 10^{25}$  г, ясно, что растворы составляют проценты — может быть десятки — по весу земной коры.

Все эти элементы находятся в динамическом физико-химическом равновесии, в вечном движении в природной воде, постоянно в нее входят и из нее выходят.

В немногие сотни лет все вещество земной коры может пройти через ее водные растворы. Это не значит, что оно действительно целиком все переходит; но это значит, что в год два проходят массы вещества, равные сотым (и может быть десятым) долям процента массы земной коры. С геологической точки зрения сотни лет — один миг геологического времени.

278. Нельзя при этом — с точки зрения энергетической — оставлять без внимания механические примеси, в частности мусть. В биосфере ее количество превышает в текучих поверхностных водах во много раз солевой растворимый остаток. В геологически короткий промежуток времени так сносятся континенты.

Главным агентом является здесь работа рек, ручьев, метеорной воды.

Реки уносят ежегодно (по расчетам) в море и озера в растворе  $2,5 \times 10^6$  тонн вещества и  $6,0 \times 10^6$  тонн в взвешенном состоянии. Но это последнее число не учитывает всей механической работы рек, так как принимается во внимание только мелкая взмученность.

Одна Миссисипи (по Гемфрею и Абботу, 1876) сносит ежегодно  $3,7 \cdot 10^8$  метрических тонн мути, Нил — по Шелю (1891) —  $5,1 \cdot 10^7$  тонн и т. д.

Взмученные воды, повидимому, есть явление характерное для биосферы — для входящей в нее суши и для прилегающих к ней морей, в прибрежных сгущениях жизни. Давление в стратиффере и глубже ограничивает разрыхление — тяжелые глубинные водные рассолы не являются благоприятным объектом для переноса мути. В общем их подвижность должна уменьшаться с глубиной.

279. В биосфере в процессе денудации, этим путем происходящей, сказывается та механическая сила текущих вод, кинетическая энергия, которая вызывается тяготением и метеорными осадками и выявляется на суше в движении рек, водопадов, ручьев, в элювиальных процессах, в движениях ледяных масс — на море — в морских течениях, в береговом прибое, в приливах и отливах. Солнечная энергия и тяготение являются первоисточниками этой энергии денудации.

Человек сейчас учитывает количественно небольшую ее часть, которая в условиях его общественной жизни может быть для него полезна.

Энергия белого угля — механической силы рек и водопадов, могущих быть использованными нашей культурой — исчисляется порядком  $1 \times 10^{10}$  лошадиных сил для всего мира (Rehbock, Flugel —  $8 \times 10^9$ , Аррениус —  $7,5 \cdot 10^8$ ). Эти данные в 200 раз меньше энергии каменных углей (Энглер, 1911), известной нам в их запасах. В калориях, по Аррениусу (1923), это будет всего  $4 \times 10^{15}$  калорий. Используется сейчас человеком не более  $1,7 \times 10^7$  HP (H. Louis, 1925).

Много большая энергия морской волны и морских приливов и отливов едва начинает учитываться. Едва начинает учитываться и исходная величина для белого угля — средняя высота массы дождя, падающей в год в данной местности, — „потенциальная сила воды“ [А. Пенка (1930)], равная по его исчислениям  $8,2 \times 10^{13}$  t kgt в год для суши при сведении к уровню океана. Эта величина должна быть повышена, так как не при-

нята во внимание средняя высота облаков над уровнем суши — она перейдет в порядок  $10^{14}$  ткгг в год, по крайней мере.

Энергия процесса денудации, взятая в целом, гораздо больше, так как она, помимо живой силы воды, так учитываемой, заключается и в химической денудации, т. е. в образовании водных растворов, в их переносе из континентов в океаны, в седиментации, т. е. в отложении мути растворов в морях (начало генезиса осадочных пород), в понижении на континентах уровня эрозии, т. е. в усилении механической работы текущих водных растворов и т. п.

Не считая мути, одна химическая денудация континентов исчисляется по Ф. Клерку (1924) уносом  $2,73 \times 10^7$  тонн ежегодно растворенных частей суши в океан. Порядок процесса, вероятно, останется, но сильно увеличится коэффициент, а может быть достигнет масс порядка  $10^{10}$  тонн, если учесть и механический снос континентов реками.

280. Огромное значение в энергетике земной коры имеют переносы водами тепловой энергии из глубоких слоев земной коры в стратисферу и в биосферу.

Уже на глубине меньше двух километров от земной поверхности — в пределах суши — средняя температура водных растворов близка к  $50-70^\circ$ . Она превышает  $100^\circ$  — т. е. точку кипения чистой воды на уровне океана — и близка к точке кипения соляных растворов уже на глубине около трех километров.

Постоянно и непрерывно в форме вулканических извержений, гейзеровых паров, минеральных источников переносится в стратисферу, в биосферу, в конце концов в тропосферу теплая вода. В общем геологический эффект этого постоянно действующего явления численно не выражен.

Но он в течение геологического времени должен быть очень велик. Горячие водные растворы и водные пары постоянно несут в биосферу теплоту и механическую энергию внутренних геосфер. Горячие термы и горячие газовые — богатые водяными парами — струи постоянно вводят эту энергию в биосферу, и она тратится на химические и механические процессы, на явления жизни и на образование вадозных и фреатических минералов.

281. Должен быть учтен и обратный процесс — перенос холодных масс водных растворов и твердых — ледяных и снежных их фаз.

Это процесс планетного характера, существующий уже в археозое.

Холодные массы водяных паров тропосферы — с высот до 9—15 километров — спускаются непрерывно в область жизни, охлаждаясь частью при расширении газовых масс стратисферы и высокой атмосферы, создавая в конце-концов столь обычный нам зимний ландшафт, околполярные и горные снежно-ледяные пустыни.

Холодная область стратосферы — наибольшее понижение температуры нашей планеты — создается в главной своей части свойствами водных паров, поглощающих наиболее сильные тепловые лучи Солнца. Пока мы можем здесь подозревать глубокий механизм в строении нашей планеты, еще только отгаданный, но научно лишь затронутый. Энергетическое его значение огромно.

Временами — периодически закономерно? — области охлаждения в ходе геологического времени увеличиваются в интенсивности, охватывают огромные части суши и морей, вызывая явления первостепенного значения в энергетике биосферы, — ледниковые периоды.

И сейчас в верхних и в нижних частях океана и многих морей массы ледяной воды покрывают планету: плавающие ледяные горы, постепенно растаивая, охлаждают поверхность океана. Внизу ближе к дну и на дне вода, близкая к замерзанию, участвует в переживании холодных масс океанической воды к земной поверхности, выходя на нее в виде холодных морских течений, — например, Гумбольдтово течение у берегов

Южной Америки. Эти холодные воды в океане понижают в нем химические и биохимические процессы. Большая часть биосферы охвачена этим угнетающим влиянием, главные центры которого находятся около полярных стран, особенно в Антарктике — замерзшем континенте.

Океан представляет охлажденную массу воды, занимающую наибольшую поверхность планеты, мощностью, близкой в среднем к 3,8 километрам, охлажденную почти до температуры замерзания. По О. Крюммелю, средняя температура всей массы воды Тихого океана равна  $3,7^{\circ}\text{Ц}$ , а температура массы воды всего океана колеблется в разных его частях от  $3,5^{\circ}\text{Ц}$  до  $4,5^{\circ}\text{Ц}$ , спускаясь в значительных участках и на больших глубинах ниже  $0^{\circ}$ . Это область планеты, где углекислота является устойчивой и в жидком состоянии.

Охлаждение передается океаном далеко вглубь планеты, в лежащую под ним магмосферу.

Энергетически — числом и мерою — явление не охвачено, и созданный в ходе времени охладитель не учтен в своем значении и в своем генезисе.

282. Невольно мысль склоняется к тому, что этот своеобразный механизм охлаждения связан с диссимметрией земной коры (§ 74 сл.), с созданием всемирного океана.

Это — планетное явление, носящее характер земной оболочки, так как высокая атмосфера на высоте 80 — 100 километров от земной поверхности нагрета до  $+30, +35^{\circ}\text{Ц}$  выше  $0^{\circ}$ .

Не меньше энергетическое значение перемен физического состояния воды в атмосфере. Здесь вода, переходя в пар, поглощает тепловую энергию солнца; сжимаясь в жидкость, она ее выделяет. Передвигаясь из холодных или теплых областей, она несет в новые места их тепловой режим. Каждая река и туча являются частью этого термического механизма, влияние которого прямое или косвенное (в значительной части через живое вещество) на все минералогические и геологические процессы огромно.

Всякий переход масс воды из одной физической фазы в другую, совершающийся или под влиянием — в биосфере — энергии солнца или в глубинных водах под влиянием повышения температуры, вызванного радиоактивным распадом химических элементов и может быть другими причинами, — есть факт первостепенной важности в энергетике земной коры.

Переход воды в лед и в снег и обратно обуславливает термодинамику биосферы в чрезвычайной степени.

Но в земной коре гораздо большее значение имеет переход жидкая вода  $\rightleftharpoons$  водяной пар.

Огромное значение и в тепловой энергии природных растворов и в миграции их солевых частей имеет легко и непрерывно происходящий переход воды в газообразное и парообразное состояние — путем дистилляции, испарения — во всех термодинамических полях земной коры. Он является — благодаря распространенности — одним из основных элементов химического значения природных растворов.

Одна поверхностная вода суши и моря путем испарения дает  $3.4 \times 10^{20}$  калорий в год (Аррениус, 1923), являясь одним из основных агентов динамики атмосферы. Это небольшая дробь в такого рода проявлении воды.

283. Не меньшим, а может быть большим регулятором солнечной теплоты является грандиозное скопление — водный раствор гидросферы. Это связано с исключительными тепловыми свойствами воды, отличающимися ее от всех жидкостей. Ее теплоемкость и теплопроводность резко иные, чем других жидкостей, и это отличие сохраняется для водных растворов.

Океаны задерживают огромное количество тепла при солнечном (днем) или летнем нагревании и медленно отдают его ночью и в холодные времена года. С этим связаны огромные изменения температуры и движений

воздуха, так создаются основные черты климата. Это явление занимает очень важное место в механизме биосферы, в частности в термодинамике атмосферы.

284. Возвращаясь вновь к химическим проявлениям водных природных растворов при энергетическом их рассмотрении, приобретают огромное значение биогенные выделения твердого вещества, постоянно и непрерывно в них идущие.

Даже в пресных водах, не говоря о соленых, непрерывно выпадают твердые соединения из растворов, при условиях, при которых простыми физико-химическими процессами никакого выделения твердой фазы быть не должно. Из океанов непрерывно извлекается этим путем — в организмы, а при их замирании в их остатки — Ca, Mg, Si, Fe, Mn, P, C; H, N, O и в меньшем количестве другие элементы. Насколько этот процесс может быть мощным, показывает, например, геохимическая история кальция в океанах и морях. Организмы выделяют ежегодно в виде  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaMgC}_2\text{O}_6$ ,  $\text{CaC}_2\text{H}_2\text{O}_4$ , фосфатов кальция почти весь или весь кальций, который вносится в океаническую и в морскую воду в тот же промежуток времени реками (в растворе). Это массы порядка  $5-7 \times 10^8$  тонн. Характерно, что Ca, Si, Fe играют в динамике морских и океанических вод такую роль, какой они не имеют в водах суши, где отлагаются на первом месте органогенные органические соединения C, H, O, N, на втором — карбонаты кальция.

Углеродистые соединения в больших скоплениях — каменные угли, нефти, битуминозные сланцы — связаны в своем происхождении с пресноводными бассейнами суши или с прибрежными морскими.

В море и в океане, в морских илах (грязях) органическое вещество так же мало накапливается, как оно не накапливается и в наземных почвах.

При образовании осадочных пород из грязей огромные количества его входят в состав стратисферы; эти количества, взятые в целом, больше углеродистых органогенных пород, но концентрации углерода в этих породах никогда не достигают его концентрации в углях, битумах или нефтях.

285. На ряду с таким биогенным выделением растворенных ионов и других компонентов раствора все природные растворы, особенно подвижные наземные воды суши отлагают в ходе геологического времени огромные количества мути, коллоидов и механических осадков.

И в том и в другом случае создаются среди отлагающихся рыхлых масс, проникнутых водой, не только химическим, но и биохимическим путем — новые типы растворов (придонные и грязевые), с которыми мы встретимся позже.

Этим путем создается главная масса вещества осадочных пород, которые включаются в сушу при замирании, благодаря тектоническим перемещениям участков морей.

Главная масса этих осадочных пород связана с денудацией суши — выпадает не из раствора, а из механической проникающей природный раствор крупной или мелкой подвижной подмеси.

286. С энергетической точки зрения выделение твердого вещества кристаллизацией, связанное с замиранием водоемов — из раствора, — имеет гораздо меньшее значение, чем это биогенное постоянное выделение минералов при существовании раствора, или выпадение в нем механически примешанных раздробленных твердых частей, несущихся силою подвижной воды.

Это бросается в глаза, если мы сравним осадочные породы, прямо биогенного и осадочного происхождения, с выделениями вещества растворов кристаллизацией.

В массе биосферы и особенно стратисферы эти продукты кристаллизации раствора составляют небольшой процент.

К сожалению, количественно сколько-нибудь точно учесть их мы пока еще не можем.

Общее же значение этих явлений в земной коре тем менее можно учесть, что они начинают преобладать и играть большую роль для подземных вод, для которых мы обычно знаем только состав продуктов кристаллизации, но не знаем химического состава раствора, давшего им начало, и физических условий среды, в которой шло и идет их выделение.

287. Химический состав и воды и выкристаллизовавшегося из нее твердого тела мы можем точно знать только для поверхностных вод. Здесь идет выделение солей. Можно различить два типа таких процессов — во-первых, замирание морских растворов, приводящее к выделению гипса —  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  — и главным образом  $\text{NaCl}$ , и затем (реже) в конечном процессе, сульфатов и хлоридов разного состава  $\text{Mg}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$  и  $\text{Ca}$ . Эти явления хорошо изучены с точки зрения физико-химических равновесий, но не обработаны с точки зрения термохимической.

Другой тип процессов связан с окончательным замиранием речных и озерных растворов. Здесь — особенно для озерных рассолов — наблюдаются разнообразные (частью изученные с точки зрения учения о равновесиях) галоидные, сульфатные, карбонатные, борнокислые соли  $\text{Na}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{K}$ .

Все другие поверхностные воды дают солевые выделения в масштабе, несравнимом с указанным, давая сульфаты, карбонаты, нитраты тех же металлов.

288. Образовавшись на земной поверхности и, вследствие позднейших тектонических процессов или благодаря седиментации очутившись в царстве подземных вод, все формы растворов наземных вод начинают быстро и резко изменяться, принаравливаясь к новым термодинамическим условиям окружающей среды, переходя в воды подземные.

Характер их водовместилищ меняется. С глубиной мы постепенно выходим из области биогенных миграций химических элементов (биосфера → стратисфера), вступаем в область, где капельножидкие воды начинают терять свое первенствующее значение. Начинают преобладать растворы пленчатых и волосных вод.

Наши знания о ходе процессов в этих водах и их конечной судьбе очень незначительны. Можно лишь в самых общих чертах отметить некоторые самые общие явления.

В истории этих вод — особенно в связи с одновременно происходящим увеличением давления и температуры — биогенные выделения вещества из растворов сходят на нет. На ряду с выделением твердых веществ, благодаря кристаллизации, увеличивается уход воды из раствора в форме образования твердых гидратов. Ярko проявляется гидратация разного характера твердой среды водовместилища — первым делом водоносных пород, поры которых являются вместилищем растворов.

Глубже вступают на первое место процессы цементации, связанные с кристаллизацией продуктов химических реакций, происходящих между компонентами растворов.

289. Подземные воды по своему происхождению явно делятся на два типа: 1) Подземные воды, берущие начало сверху (I), первоисточником которых являются воды поверхностные, метеорные — воды биосферы. 2) Подземные воды, идущие снизу (II). Генезис этих вод различен. Часть их имеет тоже метеорное происхождение, пройдя долгую историю после того, как они покинули биосферу. Но возможно, что часть этих вод впервые доходит в область нашего обитания, в биосферу, из глубин земной коры. Сейчас наиболее глубокие из этих вод можно связать с магматическими очагами (§ 297 сл.) и с водяными парами, с ними связанными.

Водяные пары подземных атмосфер должны иметь значение в этих процессах.

Обычно воды I и II смешаны в тех подземных водах, которые мы изучаем, при чем воды II увеличиваются в массе по мере углубления в земную кору.

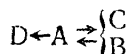
Практически воды с преобладанием I-го типа и II-го типа могут быть различаемы в большинстве случаев без больших затруднений — но едва ли когда мы имеем воды, вся масса которых генетически вполне не зависима от тропосферы.

Мы допускаем существование таких вод в глубинах земной коры, но возможно, что эта гипотеза не отвечает действительности.

Энергия, дающая начало первым водам (I), всецело связана с Солнцем и с тяготением; энергия вторых (II) в большей или меньшей степени связана с внутренней энергией земной коры или всей планеты, главной частью которой сейчас выявляется радиоактивная атомная энергия.

Сейчас можно выделить хотя бы с некоторой достоверностью только верхние части подземных вод.

Глубже идут бесчисленные метаморфические процессы, характер водных растворов которых очень неясен; для них равновесие (§ 274):



может быть пока восстановлено с значительно меньшей уверенностью, чем это можно сделать для металлических жил и пегматитовых образований.

Воды, проникающие все твердое вещество, все горные породы — волосные — оставляются мною в стороне. Они совсем не изучены.

290. В таком случае два типа подземных вод распадутся на:

Тип I — подцарства почв и грязей (биосфера), пластовых вод (биосфера, главным образом стратисфера), воды подземных водоемов (главным образом биосфера), и т. п.

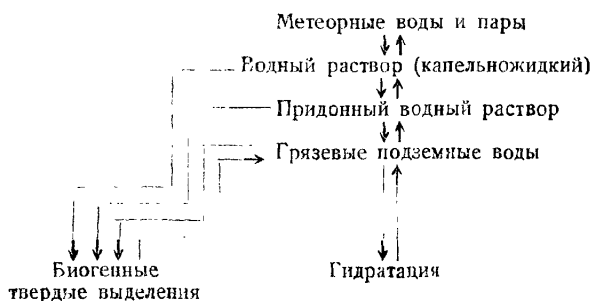
Тип II — минеральные источники (стратисфера, метаморфическая оболочка), вулканические воды (стратисфера-магмосфера), пегматитовые воды (то же) и т. д.

291. В подземных водах также можно различать обе формы их состояния: 1) длительных равновесий и 2) замирания (§ 274). Однако, в связи с состоянием наших знаний возможно реально их обе выделить только для вод, связанных с биосферой. Для вод чисто глубинных наши знания о длительных равновесиях чрезвычайно ограничены, а замирания недостаточно изучены.

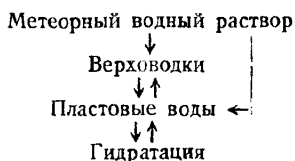
Для подземных вод биосферы и верхней стратисферы следующие схемы дают понятие о происходящих явлениях в связи с наземными водами биосферы:

### I. Длительные равновесия

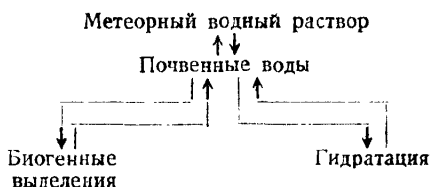
#### Поверхностные растворы (воды суши и морей)



2. Длительные равновесия подземных вод (воды суши)—тип I



3. Длительные равновесия подземных вод суши—тип I. Почвенные воды



4. Замирания поверхностных вод (стоячих)



Эти схемы могут служить указателями нормально и постоянно повторяющихся геологических процессов.

292. Для более глубоких подземных вод схемы таких процессов недостаточно фактически изучены и слишком много заключают гипотетических предположений.

Для вод второго типа (II) становится ясным, что для минеральных источников есть состояние длительных равновесий, так как достигающие биосферы минеральные воды имеют очень постоянный химический состав. Но мы их изучаем в стадии неизбежного резкого изменения, так как они идут из областей высокого давления, с другой температурой и с другим газовым режимом. Доходя до биосферы, они исчезают, и для использования человек должен их охранять. Они обычно смешаны с водами пластовыми и вадозными.

Еще быстрее меняются воды вулканические. Восстанавливать их длительные равновесия пока почти невозможно.

Пегматитовые воды до биосферы не доходят. Наши знания о них еще ненадежнее.

293. Для всех этих вод нам лучше известны минералы, происшедшие из них в процессах замирания, чем состав воды во время их существования. При этих условиях энергетический подход может основываться в первую голову на термохимии минералов — области минералогии, совершенно не разработанная, хотя никаких особых препятствий к ее изучению нет.

Не собраны и не измерены необходимые исходные теплоты образования большинства минералов.

При таком состоянии наших знаний я ограничусь здесь краткими общими замечаниями.

Они все же нужны, так как фиксируют и ставят на очередь проблему.

Для напорных пластовых вод существует несколько типов продуктов замирания ( $D-\S 274$ ) —  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ . Ни выделение гипса, ни выделение кремнезема или карбоната кальция не может быть с полной достоверностью отнесено к определенным видам анализируемых растворов. Но в их существовании нельзя сомневаться. Процесс, который происходит, захватывает огромные области, и правильно был назван Ван Хайзом как процесс цементации, характерный для стратисферы и верхней метаморфической оболочки.

Этот процесс, связывает разрыхленные и распыленные процессами биосферы твердые тела.

294. Глубже исходя из конечного замирания глубинных подземных вод — типа II — состав растворов нам большей частью неясен, но полученные продукты закономерны, и могут быть сведены к немногим подтипам.

Первый подтип связан с минеральными источниками, водными жилами, как удобно их называть. Но состав воды, до нас доходящей, этих водных жил дает пока только довольно отдаленное представление о ней в земных глубинах, где находится ее месторождение. Она доходит до нас измененная и может быть доходит из тех частей, где она находится в стадии замирания — из верхних частей водоместилища.

Прочно связать с результатами замирания водных жил доходящие до нас их воды мы сейчас не можем. Разница, впрочем, не кажется большей, чем, например, гипсовые или магнезиальные тела, генетически связанные с морской водой. Подобно тому, как это наблюдается для поверхностных вод, надо было бы для понимания явления знать промежуточные стадии — концентрации, т. е. рассолы и донные и грязевые изменения. Их мы не знаем для минеральных источников. Вода минеральных источников аналогична морской воде, а минералы морской воды выделяются из ее концентратов и грязевых вод.

Остатками водных жил являются многочисленные отложения минеральных конкреционных жил, переполняющие некоторые участки земной коры (жилыные поля), твердые продукты которых мы можем изучать (I, § 100 сл.). Они образовались в нижних частях стратисферы и в метаморфической оболочке, до глубин в несколько километров от земной поверхности и тесно связаны с магматическими очагами.

Из водных горячих (гидротермальных) растворов здесь выделялись разнообразные минералы, состава  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $(\text{CaMg})\text{CO}_3$ ,  $\text{FeCO}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{BaSO}_4$  и т. п., богатые сульфидами и сульфосолями  $\text{Cu}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Bi}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Ag}$  и т. д. Они связаны с магматическими очагами.

Еще глубже, уже как переход в магмы, являются богатые  $\text{SiO}_2$  и алюмосиликатами пегматитовые выделения (I, § 115), существующие под большими давлениями, при участии газов, летучих фумарольных частей магм, водяных паров и при температурах в пределах  $150-700^\circ$ . Летучие и легко растворимые части магм — соединения редких земель, урана, тория, тантала, циркония, титана, ниобия и т. п. здесь выделяются из пневматолитических водных растворов — водных магм.

Эти водные подземные растворы не охватывают всех подземных вод. Остаются в стороне гидротермальные воды контактных образований „сухих трещин“ (I, § 113), связанные с процессами метаморфизма, оставляемые мною сейчас в стороне из-за недостатка точных данных о их химическом составе. Они являются горячими водами, богатыми углекислотой, резко меняющими стенки и дно водоместилищ, при чем в созданных ими минералах главная часть элементов минералов происходит из образующих трещину пород. То же глубокое изменение (участие в происходящих процессах) окружающую воду пород есть общее явление для подземных, особенно глубоких горячих вод, выделить значение которого мы не умеем.



295. Невозможность тесно связать с современными растворами образующие ими тела есть, конечно, в науке явление временное. Научная мысль овладеет поставленными проблемами. В общем и сейчас открывается перед нами совершенно правильно закономерно меняющаяся с глубиной картина замирания водных растворов.

Следующая таблица дает о ней понятие.

Замирание водных растворов

Стадия раствора	Стадия твердых продуктов замирания
С т а д и я А	С т а д и я В
1. Поверхностные воды (моря, озера, реки)	NaCl, сульфаты, карбонаты, галонды Na, Ca, Mg, K
2. Пластовые воды . . . . .	CaSO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O, CaCO <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> и т. п.
3. Минеральные источники (воляные жилы)	SiO <sub>2</sub> , CaF <sub>2</sub> , BaSO <sub>4</sub> , CaCO <sub>3</sub> , FeCO <sub>3</sub> и т. д. Сульфиды, арсины, стибинны, сульфосоли металлов
4. Пегматитовые жилы (пневматолиз) . . .	Алюмосиликаты, титанаты, танталаты и т. п. Ca, Fe, Mn, Na, Si, редких земель, U, Th, и т. п.
5. Метаморфические, контактовые образования и сухие трещины (горячие водные пары?) . . . . .	Алюмосиликаты, силикаты.

Можно было бы учесть энергию непрерывно идущих — одновременно в разных глубинах земной коры — этих замираний водных растворов, если бы для каждого из них мы знали состав и массу воды, теплоту растворения и теплоту испарения, химический состав и термохимические постоянные выделенных при полном замирании раствора соединений.

Эти данные могут быть учтены, но их пока нет.

Термохимический учет образовавшихся соединений один не даст однако вполне точного представления, так как часть продуктов идет не из растворов, а из твердых стенок водовместилища. Особенно это сильно сказывается для вод сухих трещин (альпийский тип минералогенеза) (I, § 114).

Все эти пять групп процессов (вероятно, их больше; пятая группа, несомненно, сложная) в том же виде неуклонно существуют изначала нашей геологической летописи. Никакого изменения в их составе и числе мы не замечаем. Они, следовательно, — часть установившегося или искомого механизма земной коры.

296. Как указано, помимо выделения твердых соединений при полном замирании подземного раствора идет выделение отдельных его компонентов в самом растворе и при его концентрации, благодаря химическим реакциям между раствором и окружающей, содержащей его, твердой средой.

Это выделение должно учитываться при полном учете энергии процесса. Оно происходит в двоякого рода форме: во-первых, выделение в виде газообразных продуктов и, во-вторых, вхождение компонентов раствора в твердую окружающую, содержащую раствор среду.

Как пример не случайных, а неизменных в геологическом времени газообразных выделений в связи с подземными растворами можно отметить выделения CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>S. CO<sub>2</sub> выделяется, например, при понижении давления, когда растворы, богатые двууглекислыми солями, попадают в области более низкого давления, например, поднимающиеся из глубоких частей стратисферы в биосферу минеральные воды O—Na—C или O—Ca—C.

Сера всюду — и в поверхностных и в подземных водах — уходит из раствора в виде H<sub>2</sub>S, частью биохимически, частью при более высокой

температуре чисто химически, благодаря восстановлению иона  $\text{SO}_4$ . В связи с этим ион  $\text{SO}_4$  исчезает в глубинных водах.

Ток газов, идущий вместе с подземными водами или из подземных вод, не может быть сейчас охвачен в сколько-нибудь достаточной мере, вследствие очень слабого нашего знания о режиме подземных газов. Благодаря легкой подвижности газов, этим путем выделяемых, они являются неучтенным пока количественно огромным источником энергии, переносящим тепловую энергию нижних геосфер в верхние, — в частности в биосферу.

#### 4. Несколько замечаний о магмах

297. Надо остановиться еще на двух явлениях в истории природной воды, которые вероятно играют в ней очень видную роль, но значение которых не может быть сейчас достаточно точно выражено из-за недостатка установленных фактов и из-за малой разработки методики их исследования.

Это в некоторых случаях связанные между собою явления — образование магм с одной стороны, разложение и синтез воды, с другой.

В этих явлениях — подобно тому, что наблюдается для отношения живого вещества к воде, для ее коллоидальных проявлений и для ее растворов, — очень ярко сказывается диссимметрия истории природной воды: явления идут различно в гидросфере и на континентах.

298. Магмы можно рассматривать как растворы воды в силикатовой и алюмосиликатовой расплавленной переполненной газами массе, находящейся под давлением в земной коре.

Возможно, что некоторые такие магмы так переполнены сернистыми соединениями, что представляют растворы воды и сернистых металлов [как это допускает Т. Фохт (J. Vogt) для Рио Тинто, например].

Сейчас считается наиболее вероятным, что магмы не представляют сплошной расплавленной оболочки, но распределены в виде больших или меньших расплавленных очагов среди твердой или вязкой коры. Твердое вещество преобладает в стратифере, в метаморфической оболочке, в магматической оболочке, и в нем рассеяны магматические очаги, временами расплавленные массы огромной мощности.

Довольно трудно сейчас представить себе распространение магматических очагов во всей земной коре в какой-нибудь один и тот же момент времени.

Наши представления об этом в значительной мере являются неясными и спорными.

Однако, некоторую точность можно им придать, если исходить из наблюдения и от известного постепенно переходит к неизвестному.

Невыясненной является основная проблема, не доходит ли до нас в биосферу лишь очень небольшое число магматических очагов через вулканические извержения и не застывает ли несравненно большее число их, не доходя до земной поверхности, нередко на большой глубине многих километров. Так некоторые думают.

Однако, сколько могут судить, анализ фактов указывает, что количество этих очагов, не выходящих на земную поверхность, не увеличивается с глубиной и что их распределение в проекции на земную поверхность в данный момент времени теснейшим образом связано с распределением вулканов. Мы имеем определенные области земной коры, которые длительно служат местом выхода расплавленных магм, при чем в течение геологического времени эти места — участки живых дислокаций — частью повторялись, частью перемещались в земной коре.

Вулканы — не поверхностное явление, — корни их находятся в стратифере и в метаморфической оболочке, океанические вулканы в магмосфере —

базальтической оболочке. Они представляют из себя часть механизма верхних слоев земной коры и магматические очаги, с ними связанные, но не выходящие в биосферу, являются частью того же механизма.

Этот механизм является единым целым и как таковой всегда имеет выход в биосферу.

Его изменение—нам заметное—происходит в теснейшей связи с изменением орогенетической деятельности земной коры планеты, проявлением которой являются вулканы.

Усиления и перемещения вулканической деятельности наблюдались только в особые критические периоды в истории планеты, на которые несколько раз указывалось (§ 66 сл.).

Следующая карта (рис. № 6) дает понятие о распределении этих выходов магм в настоящее время.

299. Мы сейчас наблюдаем стадию замирания магматических вод того разгара вулканической деятельности, который в третичную эпоху в миоцене—десяток-другой миллионов лет назад—был в максимуме.

Сейчас во всей биосфере наблюдается примерно около 450 действовавших в историческое время вулканов. В сущности это число отвечает числу известных магматических очагов, ибо от одного очага могут выявляться многие вулканы; так, например, на Галопэгосских островах известно около 2000 вулканов, многие из которых действовали в историческое время. Все эти вулканы сосредоточены вблизи океана—в полушарии Тихого океана их около 353, и они дали в историческое время 20 км<sup>3</sup> лав и 315 км<sup>3</sup> рыхлых продуктов; остальные—97 вулканов в области Атлантического и Индийского дали 80 км<sup>3</sup> лав и 16—17 км<sup>3</sup> рыхлых продуктов.

Магматические очаги, им отвечающие, лежат относительно не глубоко, едва ли заходят далеко за пределы стратисферы (за исключением океанических вулканов—особенно в области Тихого океана).

Третичная эпоха еще жива для нас в этой части (и в значительной мере в истории воды вообще—например, для огромной части рек). Если даже, принимая во внимание замерзшие третичные вулканические области, число выходов увеличится, все же общая картина останется неизменной; на общем фоне суши эти ближайшие к биосфере магматические очаги теряются; ими определяются лишь узкие пояса на земной поверхности, за пределами которых магматических вод нет.

Идя глубже, встречаемся ли мы сейчас с расплавленными магмами—магматическими очагами, которые лежат вне связи с третичными дислокациями и с тектоническими процессами?

Застывшие далеко от земной поверхности плутонические породы третичного, скажем, возраста находились ли в связи с вулканическими проявлениями на земной поверхности или представляют независимые, недодешедшие до биосферы, проявления новых очагов?

Возможно, что есть такие случаи, но в огромном большинстве приходится рассматривать молодые плутонические массивные горные породы, как глубинные части живых или недавно геологически живых вулканических областей.

Старые орогенетические области древних дислокаций уже нацело прекратили свое существование, и в настоящее время надо думать, что распределение вулканических областей с середины третичного времени впредь до настоящей эры дает представление не только о магмах, подошедших к поверхности, но и об очагах, еще существующих в земных глубинах.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Вопрос о гранитах требует нового более глубокого изучения. Очень интересные соображения в этом отношении выдвинул недавно М. Lugeon (1930), видящий в образовании гранитов проявление иной энергии—гравитационной, которой едва ли можно объяснить происхождение известных нам вулканических очагов. Гравитационная энергия резко проявляется в процессах геохимии.

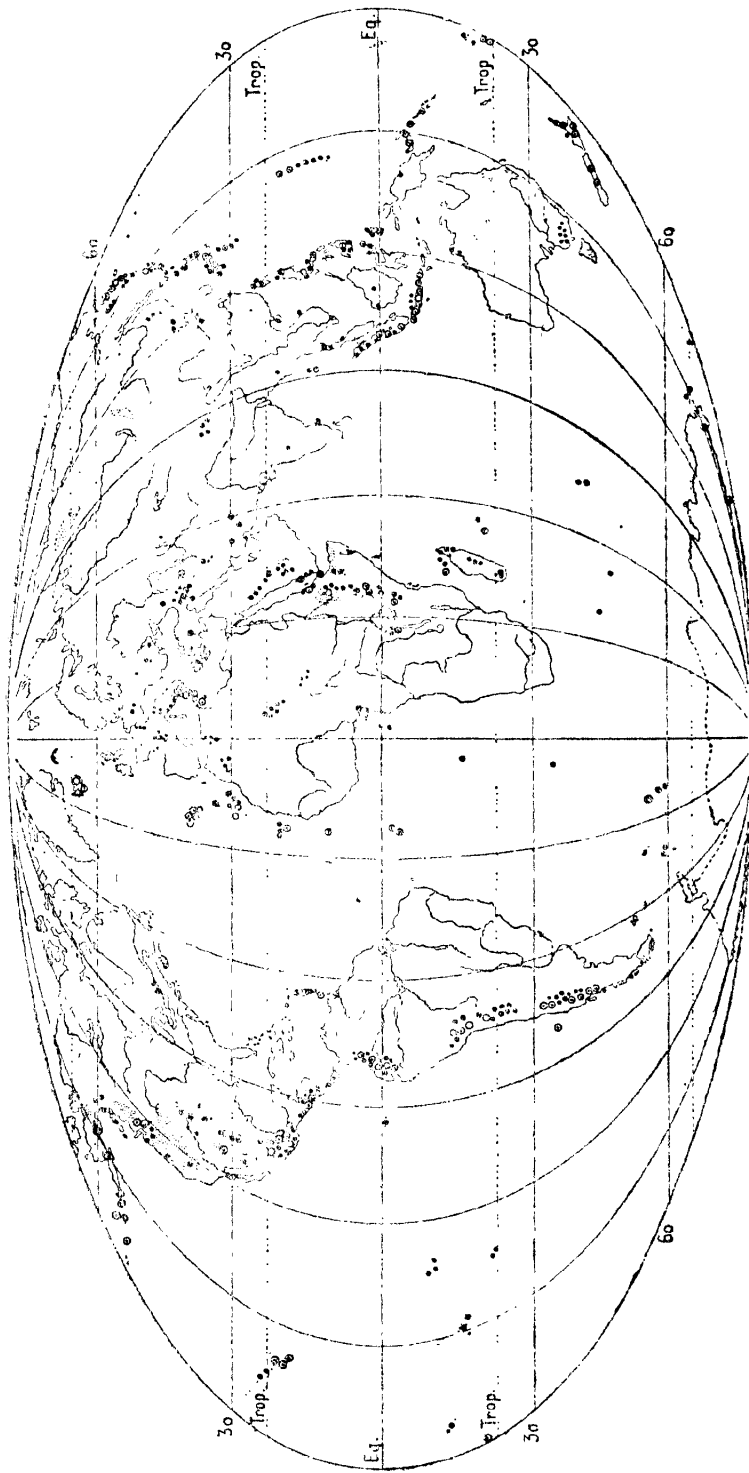


Рис. 6  
Распределение вулканов по Веглеру и др. (De Martonne, 1926).

- Вулканы, действовавшие в XIX в.
- Вулканы, действовавшие до XIX в.
- Потухшие вулканы.
- ... Поля новых лав.

Если даже какие-нибудь из более древних — до третичных — дислокаций сохраняются в виде незакончивших свое существование магматических очагов, — это едва ли явление, сравнимое по мощности с тем, что дают сейчас третичные магмы, и едва ли при его допущении много изменится наше представление о малом объеме магм, одновременно существующих в разных горизонтах земной коры, которое вытекает из рассмотрения третично-современных вулканических проявлений.

Представления о вязких и расплавленных алюмосиликатовых и других магмах, областях *Sima* и т. п. жидких и полужидких оболочках выходят за пределы эмпирического знания и имеют значение только как метод работы — как модель (например, в теории Вегенера) — еще не проверенный в своих следствиях.

Эти магматические — только допустимые — явления оставляются мной в стороне.

Область магматических очагов, с которой надо считаться в истории современных природных вод, ограничивается очагами третичными и современными.

300. В истории природных вод магмы и их передвижения из глубоких областей в биосферу имеют первостепенное значение. С ними связан генезис множества разнообразных вод; связаны распадение и синтез новых — „ювенильных“ — молекул воды.

Движение вверх, в области меньшего давления, в биосферу, магм — полужидких переполненных газами масс — связано в исходном итоге с тектоническими перемещениями твердых участков земной коры, обусловленных той самой причиной, которая вызывает образование магм; эта причина — неравномерное, неоднородное распределение и неоднородный рост нагревания в твердой литосфере. Местами температура подымается до точки плавления силикатовых пород.

Отходя все дальше и дальше от господствовавших в течение почти ста лет представлений об охлаждающейся расплавленной в догеологические периоды планете, мы подходим к более сложным представлениям о неоднородном нагревании и о неоднородном темпе его в разных местах твердых земных оболочек, связанными с неоднородным химическим составом планеты, с неравномерным, но закономерным распределением ее атомной энергии, с радиоактивными процессами.

От этой причины зависит в конце концов как образование расплавленных участков, так и тектонические перемещения.

Атомная энергия радиоактивных процессов существует, действует независимо от каких бы то ни было физических процессов планеты, все время дает активные проявления, переходя также независимо от окружающей среды в действенную форму, и по своей мощности достаточна для того, чтобы вызвать все орогенетические и в том числе вулканические процессы.

Энергия гравитационная и энергия химическая, энергия частичных сил, приходящие в действие под влиянием неравномерного распространения температуры, являются в этом смысле вторичными, — хотя они главным образом определяют характер магм.

Движение магм является частью следствием развивающегося при этом бокового давления (гравитационной энергии), вызывающего их „выпячивание“, частью следствием упругости переполняющих их газов, сложных процессов их движения, связанного с разной температурой и с разным давлением земной коры.

Это явление имеет, вероятно, еще большее значение, чем мы думаем, так как оно связано с существованием в стратифер и в метаморфической оболочке подземных атмосфер, не принимаемых совсем во внимание и совсем не изученных. Газы магм должны быть с ними тесно связаны.

Они отличаются от тропосферы, хотя и связаны с ней, не только своим составом, но и своим движением, формой нахождения, температурой и давлением.

Как напорные подземные воды по всем этим признакам отличны от жидких наземных вод, так же отличны подземные газы, с которыми сталкиваются магмы — их атмосферы — от тропосферы.

301. Эта неизученная область явлений, реально однако существующая, а не гипотетически допускаемая, обуславливает все явления движения и создания магм и связанных с ними фреатических и ювенильных вод.

Сейчас наши научные знания здесь очень ограничены.

Процесс обезвоживания магмы при переходе ее в массивную породу является основным в ее истории.

Этот процесс начинается при ее охлаждении (застывании) глубоко от земной поверхности и заканчивается для вулканических пород в биосфере.

Вулканические лавы уже в значительной мере потеряли воду магмы, пока дошли до земной поверхности, но они приобрели и новую ювенильную воду: в них идет химический синтез воды (§ 317 сл.) и захват вод стратисферы.

Получаются в конечном итоге все же породы, всегда содержащие воду (волосную) или тела, легко ее выделяющие при нагревании.

Части магм, застывающие далеко от земной поверхности, в глубинах земной коры, теряют может быть не меньшее количество воды в массивных породах — вулканических и плутонических; сохраняется в среднем 1,15% воды, химически связанной (Clarke и Washington, 1923). Колебания для свежих пород достигают до 3—5% воды. Породы гранитные — кислые — менее богаты водою, чем породы основные (граниты 0,78%  $H_2O$ , перидотиты — 1,80%). Недавние (1932) опыты Горансона указывают, что гранитные магмы до потери воды содержали ее до 8%.

Магмы различаются по количеству воды уже в своем первобытном состоянии, в очагах. И, вероятно, прав Фохт (1924), который считает, что магмы перидотитов были, например, более бедны водою, чем магмы амфиболовых перидотитов, часть воды которых могла дать начало биотитам и амфиболом.

Судя по опытам наших лабораторий в условиях, далеких от природных, — расплавленная алюмосиликатовая масса может содержать до 13,5% растворенной воды. Повидимому, такое насыщение водою редко.

В среднем можно принять как общую картину расчеты Дэя (1924). Магма до перехода в массивную породу в среднем содержит 5—6% воды; в массивных породах остается приблизительно одна четверть и даже меньше.

Каждое вулканическое извержение является источником огромного количества фреатической и ювенильной воды, приносимой из глубин земной коры. Понятие о нем можно иметь, если взять максимальный случай. Лава Матавана в Самоа при удельном весе 2,6 занимает объем около 1,1 км<sup>3</sup> — т. е. при 5% воды принесла сразу массы ее порядка  $10^{14}$  тонн, а если учесть, что 5% есть не максимальное число, и что при изливании идет еще синтез воды под влиянием кислорода воздуха, то выделение в отдельных случаях одновременно масс воды в  $10^{15}$  тонн не явится преувеличением.

При оценке содержания воды в магме необходимо иметь в виду, что магма есть место синтеза воды, и что в водно-силикато-алюминиевом растворе идет — в значительной мере под влиянием проникающих магму газов синтез воды не только на земной поверхности, но и в магматических очагах (ср. § 330). Возможное ее разложение в магме едва ли уравнивает этот процесс.

Мы сейчас поэтому можем только очень гадательно определять процент воды в магмах. Несомненно он в верхних, более близких к биосфере ча-

стях должен исчисляться многими процентами. В некоторых случаях, например, при быстром застывании, при образовании стекловатых горных пород, процент сохраненной в породе воды превышает 10% (например, для некоторых пехштейнов).

В подводных извержениях вода может сохраняться в выходящих на дно морей магмах в большом количестве (может быть она частью захватывается из моря). Так в палагонитовых породах и в палагонитовых туфах Исландии количество воды доходит до 24,4% (G. Turgell и M. Peacock, 1926).

302. Это выделение магматической воды играет большую роль в истории земной коры. Оно компенсирует то ее химическое связывание, которое неизменно происходит в биосфере. Но мы не должны терять из виду масштаб явления. Количество воды в магматической массе земной коры не может, повидимому, достигать массы воды гидросферы.

Но огромная энергия, свойственная этой воде, и ее движение в земной коре, которое тоже является проявлением ее энергии, обуславливают чрезвычайно резкую и сильную ее реакцию в биосфере и особенно в метаморфической оболочке.

Именно она в значительной мере вызывает в ней и в стратисфере процессы цементации.

303. Вода как минерал в магмах и в магмосфере в жидком состоянии быть не может.

Химически чистая вода имеет критическую температуру в 374,07—374,62°, а для ее растворов эта температура — к сожалению не определенная — должно быть не превышает 425°. (J. Vogt).

304. Температура магмы чрезвычайно превышает критическую для воды и потому в магме химически не связанная вода находится всегда в газообразном состоянии.

Если вода не будет химически связана с магмой, она должна выделяться из нее в виде газа. Выделение такого газа идет непрерывно.

При температуре в 1000° (и обыкновенном давлении) идет разложение воды на  $O_2$  и  $H_2$ . В областях высокого давления это разложение может не происходить при этой температуре, но свойства водяного пара при высокой температуре нам плохо известны.

Все же из изучения природных явлений ясно, что водяной газ входит, вне магмы в теснейшее соприкосновение (может быть, своего рода растворы) с многочисленными газами и парами других соединений. Химические проявления этих тесных смесений выражаются в разнообразных многочисленных минералах, в частности в силикатах и в алюмосиликатах, получаемых во время газовых реакций пневматолитическим путем или воздействием на окружающую среду (минералы альпийского типа, 1 § 114).

305. Значительная часть воды магмы находится в силикатовом и алюмосиликатовом растворе, образуя то, что мы называем собственно магмой.

Здесь проявляется своеобразное и резкое изменение химических свойств воды, на значение которого обратил внимание С. Аррениус (1900), но явление, им установленное, и идеи, с ним связанные, мало отразились пока на научной мысли и не подверглись дальнейшему углублению.

Я могу здесь их только коснуться; в химии силикатов и алюмосиликатов это явление играет основную роль и в ней должно быть основным образом охвачено.

Аррениус указал, что вода с повышением температуры меняет свои химические функции.

При температуре биосферы и стратисферы вода химически может быть рассматриваема как тело, обладающее свойствами то слабой кислоты, то слабого основания. При повышении температуры она является кислотой;

при температуре около  $300^{\circ}$  (число получено экстраполяцией) вода и кремнекислота, приблизительно одинаковые по силе кислоты, при  $1000^{\circ}$  вода уже в десятки раз сильнее  $\text{SiO}_2$ , и как сильная кислота должна вытеснить кремнезем из солевых соединений.

В магме мы встречаемся с водой с новыми свойствами, и все соединения, ее заключающие, выделившиеся из магмы при температурах, превышающих примерно  $300^{\circ}$ , должны отражать в своем строении эти необычные для нашего термодинамического поля ее свойства.

Нельзя не отметить, что магма не есть определенное однородное тело. В ней идут разнообразнейшие процессы дифференциации, и химические силы выступают на первое место. Разные магмы и части одной и той же магмы различны.

Так вместо сложной магматической системы, дающей при застывании горные породы, есть участки более простого состава, например, магмы  $\text{H}_2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , дающие при застывании кварц (некоторые кварцевые жилы) (J. Vogt, 1926).

Количество воды (газообразной) в магмах определяется повидимому этими химическими свойствами. Мы имеем сложное равновесие:

Магма с $\text{SiO}_2$ , вытесненной	→	{	Водяные пары (кислота)
в значительной мере водой			Газообразные растворы
из соединений	←		$\text{CO}_2$ , $\text{H}_2\text{S}$ , $\text{Cl}$ , $\text{F}$ и т. д.

306. Область магм ограничена, даже если отбросить из круга наших представлений слои земных глубин и ограничиться только пределами земной коры.

Несомненно везде под сушей мы при углублении встречаемся с постоянным повышением температуры, которое на глубине 10—30 километров, пользуясь экстраполяцией из наблюдаемых температур (больше 2 км от земной поверхности), приведет к температурам выше  $1000^{\circ}$ , при которых алюмосиликатовые и силикатовые породы должны перейти в расплавленное состояние.

Таким образом как будто бы—на этих глубинах—вместо магматических очагов в твердой геосфере должны были бы наблюдаться расплавленные магматические геосферы.

Однако, такое заключение не может быть принято. Уже не говоря об опасности экстраполяции в таком неясном явлении—этому противоречит анализ того единственного реального явления, которое мы должны неизбежно принимать во внимание при объяснении повышенной температуры. Все другие объяснения являются гипотезами и отпадают при наличии реально существующей причины.

Причина повышения температуры с углублением—прежде всего (если даже и существуют другие),—атомная энергия.

Количество урана, тория, калия, рубидия, радия и других радиоактивных элементов, в той или иной форме находящихся в массивных породах, а следовательно и в магмах, из которых они произошли, таково, что оно совершенно объясняет и наблюдаемое нагревание по мере углубления в земную кору и расплавление силикатовых и алюмосиликатовых пород. Однако, количество этих элементов быстро уменьшается с глубиной, что заставляет думать, что высокая температура не только понижается от некоторого слоя в магматической оболочке земной коры при движении к земной поверхности, но и при движении вглубь.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Повышение температуры, связанное с радиоактивным распадом должно быть общим уделом всех химических элементов. Это неизбежно для нас при современном состоянии знаний, научная гипотеза, еще не проверенная. Мы встретимся еще с значением этого явления во второй части книги (напр., для геосферы). Здесь же надо отметить, что измеряемая нами тепловая энергия радиоактивного распада является частью всей такой энергии, отвечающей из более интенсивным случаям распада. Химический состав вещества неизбежно всегда несет с собой тепловую свободную энергию, всегда влияет на свою температуру.



Где лежит слой максимальной температуры, мы не знаем.

Если количество радиоактивных элементов продолжает уменьшаться с глубиной—на что есть эмпирические указания, останавливаться на которых я здесь не могу,—то не только не может существовать жидкая геосфера, но и количество очагов магмы должно уменьшаться с глубиной и температура их понижаться, при чем давление продолжает увеличиваться. Вещество геосферы должно становиться более вязким и холодным, приближаясь по некоторым свойствам к стеклу или металлу.

307. На глубине около 60 км, когда давление приближается к  $30\,000\text{ кг/см}^2$ , исчезает различие между жидким, твердым и газообразным телом, вода, если она и существует, обладает свойствами, которых мы точно не знаем. Мы не можем дать о ней—о ее состоянии и свойствах—никакого научно ясного представления.

По отношению к механическим проявлениям (землетрясениям) до глубины более 1000 километров от земной поверхности, вещество планеты представляется нам как бы твердым. Температура его может быть и высокая и низкая. Оба представления сейчас защищаются. Вопрос не решен, и неясно, идет ли вода в эти глубины. Но здесь мы имеем дело уже не с магмой. Повидимому, вода где-то в этой области сходит на нет—в гипотетическом металлическом ядре предполагают ее отсутствие.

308. Несовсем ясно распределение магматических масс в областях континентов и океанов.

Как видно из карты (рис. 6), вулканические извержения не распределены равномерно по всей поверхности планеты, а сосредоточены в определенных поясах. Эти вулканы широко распространены, как для морских частей океана, так и для океанических, т. е. таких, под которыми строение земной коры иное. В Тихом океане все вулканические извержения дают основные породы.

Останавливаясь только на этих глубоких частях океана, отвечающих диссимметрии земной коры (§ 74 сл.), необходимо заключить, что магматические очаги под ними иного состава, чем под сушей;—следовательно, целый ряд вод связанных с магмами суши будет—помимо всего прочего—под океанами (т. е. под гидросферой в собственном смысле этого слова) отсутствовать.

В них не могут наблюдаться напорные пластовые воды, минеральные источники, почти всегда связанные с кислыми породами и т. п.

В них могут встречаться только воды, неизвестного нам состава, связанные с базальтовыми или эффузивными магмами неизвестного нам характера. Это часто не учитывается, и еще недавно (1929), один из крупных океанографов (Т. Thoulet) выдвинул значение гипотетических выходов терм и вулканических вод для объяснения состава и равновесия океанов. Исходные его положения являются не эмпирическим наблюдением, а, не основанной на фактах, гипотезой.

Оставляя в стороне прибрежные части, где эти явления могут наблюдаться, и приконтинентальные моря, под главной толщей гидросферы должны иметь место другие явления.

На островах, например, Тихого океана возможны лишь метеорные, океанические, органогенные воды (лужи, грунтовые воды, воды мангровых и коралловых областей и т. п.) и вулканические воды основной магмы.

С этими основными вулканическими водами далеко не просто сравнить воды таких же магм суши, так как на суше они прошли через толщу фреатических вод кислых магм и пластовых вод, отсутствующих для поднимающихся в биосферу магматических выделений океана.

Диссимметрия в истории вод выражена резко.

## V. Изменение молекул воды в земной коре

### I. Гидратация и дегидратация

309. Растворы не являются единственным химическим процессом, вызываемым в земной коре проникающими ее молекулами воды.

В растворах свойства этих молекул наименее изменены. Их распространение и их значение в земной коре являются следствием особого положения этой группы минералов в строении верхних частей планеты, о чем мы уже говорили.

Другие химические реакции, в которых принимает участие вода, не менее значительны, но их продукты уже выходят из нашего рассмотрения в этой книге. Они связаны с вхождением и выходением молекул воды в минералы или из других минералов. Молекулы воды целиком входят в многочисленные природные тела—сторонние воде минералы,—а при их разрушении из них выделяются в неизменном состоянии.

Сейчас для кристаллических тел наши представления получают более конкретное выражение. Можно различить здесь (например, Натта, 1930) два разных случая: первый, когда есть определенные соотношения между водой и соединением, в которое она входит. Связь между атомами молекулы воды может сохраняться—она входит в кристаллическую сетку. Для неопределенных соединений молекулы воды занимают в кристаллической сетке пустые места, и связь между атомами  $H_2O$  может нарушаться. Если первые тела можно назвать кристаллическими гидритами, то вторые могут быть названы растворами воды в твердых телах.

Не останавливаясь на этом различии во всем дальнейшем изложении, я буду называть все соединения, в которые участвующая в реакции молекула воды входит целиком и выходит из них при распадении соединений, как бы без разложения, в прежней форме,—гидритами или гидратизированными соединениями, а самый процесс с этим связанный, гидратацией и дегидратацией.

310. Этот огромный по важности химический процесс миграции химических элементов в земной коре может быть поставлен на ряду—по своему значению—с растворами и с процессом растворения.

Но он не охватывает всех химических реакций, в которых природная вода принимает участие.

За пределами гидратации есть ряд разнообразнейших химических реакций более глубокого характера, в которых принимает участие вода.

Здесь можно различить два резко различных типа химических процессов: 1) связанные с распадением молекулы воды и 2) связанные с новым образованием молекулы воды—ее синтезом в земной коре из водорода и кислорода—прямо из газов или в связи со сложными, принимающими участие в химическом процессе, водород и кислород содержащими, соединениями.

Эти реакции синтеза и распада воды в земной коре играют огромную мало выясненную роль в ее истории.

Я рассмотрю эти явления отдельно.

311. Явления гидратации и дегидратации дают все переходы в чисто химические реакции синтеза, и в меньшей степени разложения, воды.

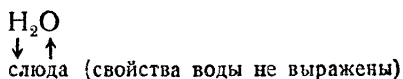
Это сложная группа химических процессов, по большей части сосредоточенных в определенных участках земной коры, в зависимости от термодинамических условий, в которых они имеют место.

Гидратация наблюдается в огромном интервале температур. Она идет на земной поверхности при тех же термодинамических условиях, при каких идет растворение. Но она идет в гидротермальных процессах в стратиффере и в метаморфической оболочке при температурах, достигающих сотен градусов, и давлений не меньших. Наконец она идет в магматических процессах при образовании алюмосиликатов и силикатов.

Очевидно, все эти различные проявления гидратации не могут отвечать одинаковым продуктам и химически различны.

312. Среди этих продуктов гидратации мы имеем, с одной стороны, такие образования как соли с кристаллизационной водой (гидраты солей), гидраты в собственном смысле (кислоты и основания), растворы воды в силикатах и алюмосиликатах (например, в бронзитах), так, с другой, воду, переходящую в волосные воды (гигроскопическую воду минералов и горных пород), находящуюся в теснейшем контакте с твердым телом, ею облекаемым, и с капельножидкой водой (§ 11), почему она должна быть включена в рассмотрение природных водных растворов. Как указывалось это не химически чистая „вода“, а водный раствор, образовавший тончайшую губчатую сеть, проникающую и облекающую все твердое вещество земной коры, и легко переходящий в капельножидкое состояние.

На ряду с таким переходом в капельножидкий раствор молекулы воды входят в те прочные соединения, в которых вода не уходит из данного тела в парообразном состоянии при температурах равных многим сотням градусов, иногда выше  $1000^{\circ}\text{C}$ . Это конституционная вода силикатов, алюмосиликатов, оксифосфатов и т. п. Это вода, которая, вероятно, входя в соединение теряет связь между своими атомами (водорода и кислорода) в кристаллической сетке минерала, в который она входит; однако, она всегда входит в минерал при его образовании и выходит из минерала при его разложении в виде молекул  $\text{H}_2\text{O}$ . Для таких минералов, например, для слюды, история атомов  $\text{H}_2$  и  $\text{O}$  выражается схемой:



Все указывает, что внутри таких алюмо и феррисиликатов молекула воды распалась, но это не заметно в природном процессе: выделяясь из соединения, все атомы опять образуют молекулу воды.

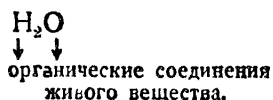
Очевидно, явления гидратации обнимают очень разнообразные явления, но в природных процессах земной коры эффект их одинаков, и поэтому они могут быть объединены вместе.

Очевидно, также, что и в природных процессах есть резкая разница между разными „гидратами“. Она выражается в упругости паров воды гидратов: часть их находится—в различной степени—во взаимодействии с окружающей их газовой атмосферой, часть же—нет. На рассмотрении этого явления здесь я останавливаться не могу.

Важно отметить, что в одном из основных процессов разложения воды в биосфере, который приводит к созданию органических соединений живого вещества и к образованию гумуса, углеводов и т. п. главная масса молекул воды входит в круговорот того же рода. Входя в органи-

ческие соединения, разлагаясь зелеными растениями—она после „сгорания“ в биохимических процессах вновь восстанавливается в прежнюю молекулу.

И здесь, как для слюды, существует схема:



313. Эти реакции, которые связаны с сохранением в круговых процессах молекул воды в верхних оболочках земной коры, могут здесь повиному нарушаться только энергией жизни. Ею, например, будет создаваться из этих молекул  $\text{H}_2\text{S}$  или  $\text{CH}_4$ , в виде которых водород воды не будет возвращаться непосредственно в молекулу воды (§ 327).

В верхней области земной коры, нами изучаемой, аналогично жизни могут действовать—доводить разложение молекулы воды до конца—только такие силы, как радиоактивные и ультрафиолетовые излучения, глубоко разрывающие связь между атомами кислорода и водорода: всюду же кругом создаются химические соединения без разрыва связи между водородом и кислородом.

Важность этих реакций в земной коре видна уже потому, что для большинства минералов вода—как молекула—входит в их состав и является для них характерной составной частью. Это явление мы наблюдаем для 60—70% всех до сих пор наблюдаемых минералов.<sup>1</sup>

314. В дальнейшем изложении истории природных вод мы всюду встретимся с процессами гидратации и дегидратации. Они ясно различно выражены в геосфере в вертикальном разрезе земной коры. Здесь я в нескольких словах укажу их главнейшие проявления:

В биосфере гидратация идет в чрезвычайной степени во всех водных бассейнах. Здесь огромная часть молекул воды входит в твердые соединения грязи дна и облегающих водовместилище горных пород. При этом биохимические процессы идут в том же направлении.

Даже в воздушной среде, в тропосфере, процессы гидратации—поглощения воды гидроскопической пылью—играют крупную роль в механизме круговорота воды.

Основным явлением химии почв и подпочв может считаться гидратация и дегидратация, теснейшим образом связанные с коллоидальными процессами. Здесь—особенно в подпочвах и подпочвенных водах—должно быть сосредоточено выветривание, основным проявлением которого является гидратация.

Во всех самосадочных озерах огромное количество гидратов солей закономерно выделяется и растворяется в зависимости от условий окружающей среды.

Во всех областях биосферы, проникнутых жизнью, идет тот же процесс гидратации; меняется только форма тех соединений, которые при этом создаются.

С отходом от земной поверхности, от биосферы, в области пластовых вод—верховодок и напорных—интенсивно идут аналогичные процессы, охватывая всю кору выветривания и проникая стратисферу. В стратисфере гидратация связана с пластичными водами, с вызываемой ими цементацией и с метасоматическими процессами.

В результате для большинства химических элементов разные формы гидратных соединений являются устойчивыми и господствующими—для

<sup>1</sup> Минералогические таблицы П. Грота и К. Милейтнера (1921) дают возможность получить минимальную цифру. Из приведенных в ней 2262 имен минералов для 1259 указано нахождение в их составе молекул воды. Но Милейтнер и Грот, в целом ряде случаев ее реального нахождения, на это не указывают (например, для роговых обманок, нефелинов, апатитов и т. п.).

кремния и алюминия (опалы, глины, водные силикаты), для железа и алюминия (гидраты), для магния (водные силикаты, водные карбонаты, гидраты солей), для кальция (гидраты солей), для натрия (гидраты солей) для калия (водные алюмосиликаты) и т. п. Об этом дальше в главе о геохимии природных вод.

Вся биосфера и стратисфера дают таким образом две формы равновесия для молекул воды — водные растворы и гидратные соединения.

Между ними идет постоянный обмен молекул воды: гидратация в прикосновении с растворами идет частью путем гидролиза, частью более сложным путем, образуя все более и более богатые водой соединения. Явление еще более усложняется, благодаря идущим как раз в этой области коллоидальным процессам — тела переходят в богатые водой гели и студни.

При их постоянном изменении образуются при соприкосновении с растворами, в растворах или в среде, богатой осадками, все более и более богатые водой соединения, при чем очень часто все эти процессы идут под влиянием жизни.

Образуются твердые соединения, заключающие до 50 и больше процентов воды по весу. Так, например, серпентины (до 13% воды), образовавшиеся в гидротермальной среде при относительно высокой температуре, напр., во влажной среде на острове Кубе, подвергаясь выветриванию, дают богатые железом латериты, содержащие до 42% воды (Leith a. Mead, 1915).

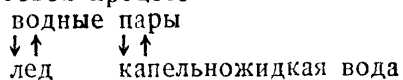
Вся биосфера и стратисфера проникнуты такими продуктами гидратации, происходящими при процессах выветривания (1, § 55 сл.).

Иной тип представляют выделения богатых „кристаллизационной“ водой солей, например, выделение гипса —  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , озерных солей (астраханит, сода, глауберит и т. п.) или солей солонцов и выветривания (сульфаты и карбонаты Na, Al, Fe, Mg и т. д.). И здесь количество воды достигает очень высокой степени, например, среди наиболее богатых ею — для соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ) — 64,2%  $\text{H}_2\text{O}$ , мирабилита ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ) — 56,9%  $\text{H}_2\text{O}$ , лангсфордита ( $\text{MgO} \cdot \text{MgCO}_3 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$ ) — 57,4%  $\text{H}_2\text{O}$  и т. д.),

При застывании в биосфере (особенно в гидросфере) вулканических пород удерживается этим путем огромное количество воды в виде алюмосиликатов и силикатов, например, в пеолитах. Для наиболее богатых водою процент ее достигает 24,1 в гидротомсоните, 17,8% в гейландите и т. п. В палагонитах подводных извержений около Исландии процент воды по весу достигает 24,7%.

315. Здесь же в биосфере и в стратисфере в особых условиях наблюдается дегидратация — потеря воды. В биосфере она наблюдается в областях бедных жизнью, сухих, пустынных, при чем нигде не достигает тех размеров, каких достигает в глубоких оболочках земной коры.

Этим путем химически связанная вода в твердых соединениях возвращается назад в основной круговой процесс:



Количественные соотношения между процессами гидратации и дегидратации пока не учтены.

Обычно эта дегидратация идет частично; т. е. более богатые водой соединения гидратного типа переходят в менее богатые ею соединения того же типа.

Такова дегидратация в морских и водных осадках при высыхании — временном или постоянном — водных бассейнов, при самосадке солей по мере концентрации, при рассеянии солей в солонцах на поверхности земли и в соленой пыли тропосферы. Здесь идет дегидратация — переход более богатых водою гидратов в более бедные.

Многообразные проявления этого процесса идут временами чрезвычайно медленно — в рамках геологического времени. Так, например, опалы ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) бедные водой с ходом времени в стратиффере переходят в халцедоны ( $\text{SiO}_2$ ) сперва, а потом в кварцы. Уже в третичных слоях господствуют только халцедоны,

316. И в более глубоких слоях земной коры наряду с процессами гидратации мы встречаемся и с дегидратацией, которая, повидимому, усиливается в более глубокой области „регионального“ метаморфизма.

На глубинах, где температура сильно превышает точку кипения воды (учитывая давление), очевидно, не могут иметь места процессы гидратации обычного типа, так как упругость паров этому препятствует. Гидраты должны разлагаться.

Явление несомненно очень сложное.

Я не могу здесь вдаваться в эту область явлений, где к тому же наблюдение не дает еще вполне прочной опоры для суждений.

Важно лишь заметить, что по мере повышения температуры гидраты становятся менее устойчивыми и должны становиться все более бедными водой.

Дегидратация должна все более и более увеличиваться и давать начало парам воды, выделяющимся в вулканических извержениях, в гейзерах и в термах, питающих пластовые воды.

И действительно, по мере углубления ряд гидратных соединений исчезает и дает безводные тела. Так:

	Опалы	дают	$\text{SiO}_2$
	Глины	„	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5$
Гидраты окиси железа	„		$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Цеолиты — исчезают и т. д.			

Как мы увидим во второй части книги, эти процессы гидратации и дегидратации играют огромную роль в круговороте воды, в первичных геохимических круговых процессах.

## 2. Синтез и распадение молекулы воды в земной коре

317. Точно так же, как структура и история магматических масс, и процессы, связанные с новообразованием и разрушением молекул воды, могут быть сейчас охвачены лишь в самых общих чертах. Имеющиеся научные факты явно не дают ясного понятия о значении этих процессов в земной коре.

Повидимому, и синтез, и разложение молекул воды идут в земной коре в большом масштабе, происходят кругом нас на каждом шагу. Но они никогда не были сведены воедино и не были подвергнуты систематическому научному исследованию.

Тепловые эффекты этих реакций огромны, и в будущей энергетике земной коры их роль должна быть очень велика.

В конце XVIII столетия, когда вода была разложена на кислород и водород, это открытие произвело огромное впечатление, и были попытки связать этот процесс с основным газовым режимом земной коры, и в частности — с происхождением свободного кислорода. Его объясняли разложением молекул воды неизвестными еще процессами, идущими при высокой температуре. Их искали.

Но скоро эти искания замерли, так как открытие фотосинтеза у зеленых растений оказалось вполне достаточным для объяснения нахождения свободного кислорода.

Разложение молекул воды, так же как и их синтез, надолго исчезло из научного кругозора. Сейчас мы подходим к их научному изучению.

318. Среди бесчисленных природных продуктов, связанных с химическим взаимодействием между молекулами воды и окружающими телами,

только часть может быть рассматриваема как проявление синтеза и распада ее молекул.

Такие соединения, как многочисленные природные соли с кристаллизационной водой, гидраты и т. п., которые получаются с поглощением молекул воды и распадаются с ее выделением в неизменном виде, должны быть исключены из наших суждений. Несомненно, эти соединения физически никаких свойств воды не проявляют, и атомы кислорода и водорода в лучшем случае могут в них сохранять то же положение, какое они занимали в молекулах воды, а могут эти положения не сохранять. Но, выделяя при разложении воду неизменной, они образуют в природе круговой процесс, который связан с сохранением количества молекул воды неизменным.

Он только что рассматривался нами как процесс гидратации и дегидратации.

Это относится и к процессам, чрезвычайно распространенным в природной химии алюмосиликатов и силикатов, заключающих так называемую, конституционную воду, которая выделяется из соединений неизменно, как вода — при высоких температурах (выше 500 и даже 1000°).

Едва ли в этих соединениях атомы молекулы воды сохраняют такую связь, какую им надо приписывать в „молекулярных“ соединениях, ранее указанных, ибо присутствие молекул воды в соединениях этого рода

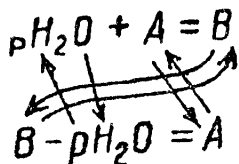


Рис. 7

трудно устанавливается. Возможно, что это — соединения, где и  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{H}_2\text{O}$  играют роль кислот и кислотных ангидридов.

В истории природных вод эти тела играют ту же роль, как гидраты и соли в кристаллизационной воде. Количество молекул воды не меняется при образовании и обычном разложении соединения. Все эти тела могут дать круговой процесс (рис. 7).

319. Но наряду с такого рода химическими реакциями есть ряд других, в которых или молекула  $\text{H}_2\text{O}$  распадается на молекулы кислорода и водорода или, входя в сложное соединение, водород и кислород воды при изменении или распадении образовавшегося соединения вновь не выделяются в виде воды. Произошло распадение молекулы воды.

Но есть и ее синтез.

Для последнего можно различать два генетически резко отличных случая природного процесса: или молекулы водорода и кислорода непосредственно соединяются и дают молекулы воды, раньше не существовавшие, или же молекулы воды впервые образуются при химических реакциях, происходящих между соединениями кислорода и водорода, воды не заключающими.

И в том и в другом случае идет синтез молекулы воды в пределах земной коры.

Оба процесса — синтез и распад — происходят непрерывно и закономерно, и так как они идут в разных геосферах и очень многообразными способами, то надо думать, что эти реакции должны играть в земной коре очень заметную роль.

Оценить сейчас количественно значение обеих противоположных реакций синтеза и разложения мы пока не можем.

Преобладает ли в общем итоге синтез молекул воды в земной коре, или их распад, или же между обоими процессами установилось равновесие?

320. Уже при современном несистематическом изучении, когда материал подбирался случайно, мы знаем следующие, резко различные по вызывающей их причине явления разложения и синтеза воды:

1. В высокой атмосфере и в стратосфере: действие коротких ультрафиолетовых волн, идущих от Солнца, космических излучений и радио-

активных эманаций. Реакции распада и синтеза, здесь идущие, связаны с историей озона (I, § 145) и перекиси водорода.

2. В фреатической и ювенильной областях земной коры: сложные реакции, связанные с взаимодействием газов при высоком давлении и высокой температуре (в магматических очагах).

3. В биосфере: фотохимические процессы в зеленых организмах, связанные с созданием сухой органической массы живого вещества.

4. В биосфере и в стратиффере: разложение молекул воды в растворах, заключающих радиоактивные элементы — радий и эманации.

5. Разнообразные биохимические реакции, связанные с явлениями метаболизма живых организмов и биохимического изменения их органической массы.

6. Сгорание органических веществ, в частности сгорание живого вещества — в биосфере.

7. С биогеохимическими явлениями не прямым, но прослеживаемым, путем связано окисляющее действие свободного кислорода биосферы (синтез молекулы воды) в случаях, когда имеются налицо исключительные для биосферы концентрации энергии.

8. Взаимодействие вулканических паров в биосфере.

Несомненно, это далеко не все проявления идущего непрерывно синтеза и разложения молекул воды.

321. В 1892 году Э. Зюсс возбудил внимание к постоянному притоку воды — новой, „ювенильной“, — которая раньше никогда не была в круговороте, т. е. в равновесии Галлея (§ 409) — на земной поверхности. Он предполагал, что в минеральных источниках и вулканах снизу из глубин планеты постоянно приходит такая девственная в биосфере вода.

Несомненно, как мы увидим, идет постоянно и непрерывно водяной пар из глубоких частей земной коры. Но значительная часть этого водяного пара уже раньше была на земной поверхности, принимала участие в равновесиях на земной поверхности и проникла в глубокие части литосферы сверху.

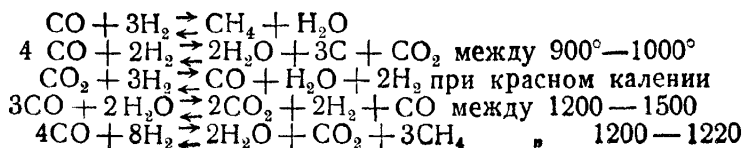
Мы не можем (пока) отделить эту часть от той воды, которая несомненно наново создается в глубоких частях земной коры. Часть водяных паров, идущих в биосферу снизу, действительно ювенильна в понимании Э. Зюсса: она впервые входит в равновесия воды в биосфере.

Но в представления Э. Зюсса, и сейчас имеющие многочисленных сторонников и влияющие на современное учение о минеральных водах, надо внести две поправки.

Во первых, такая ювенильная вода идет из пределов земной коры — не из глубин планеты, а из верхней ее области, к которой принадлежит и биосфера.

И во-вторых, создание ювенильной — в смысле Э. Зюсса — воды идет в пределах всей земной коры, в том числе и в биосфере.

322. В глубоких частях земной коры — в стратиффере, в метаморфической и в магматической геосферах — должен идти непрерывно синтез воды при реакциях, связанных с взаимодействием горячих газов магматических очагов. Должен идти ее синтез и разрушение в реакциях типа:



и т. п.

Эти реакции являются функцией температуры (очевидно идут в глубоких участках земной коры) и давления.



Распадение молекул воды в этих областях (в той же форме равновесий?) должно идти и в случаях окисления металлических тел или закисных соединений железа.

И должны идти те же реакции (с выделением водорода), когда расплавляются силикатовые и алюмосиликатовые породы, заключающие в своем составе воду.

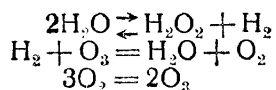
Учесть этот процесс количественно сейчас невозможно.

323. Очень возможно, что большое значение имеет разложение — фотохимическое — воды, идущее повидимому непрерывно в стратосфере под влиянием радиоактивных, космических и ультрафиолетовых лучей Солнца.

Возможно, что в стратосфере и в верхней свободной атмосфере молекулы воды распадаются, давая свободный кислород (resp. озон) и водород, частью соединяющийся с азотом. Если бы эта реакция подтвердилась и значение ее оказалось большим, история кислорода (и роль живого вещества в этой истории) потребовала бы значительных поправок (I, § 240). Эта область явлений требует сейчас большого внимания.

Сейчас имеются здесь не точные наблюдения природных явлений, а гипотетические построения, основанные на реально наблюдаемом действии радиоактивных и ультрафиолетовых излучений на воду и перекиси водорода и озона на водород.

Возможные процессы выражаются следующими формулами:

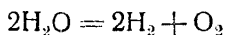


Возможно, что это все местные круговые процессы, находящиеся в равновесии, т. е. не отражающиеся на истории воды и кислорода на нашей планете.

324. В последнее время выдвигается новое явление, до сих пор недостаточно обращавшее на себя наше внимание.

Открытие вод, богатых радием, пластовых вод нефтяных месторождений, заключающих до  $10^{-8}$  —  $10^{-9}$  % Ra, заставляет считаться с возможностью распада молекул воды, под влиянием радиоактивных элементов и выделяемой ими энергии.

Существование этого процесса — образование гремучего газа по уравнению:



наряду с образованием перекиси водорода опытно констатировано для радия и для радиевой эманации. Очевидно, что то же самое должно существовать для эманаций актиния и тория, для мезотория и для других продуктов распада ториевого и актиниевого ряда.

Не исключена возможность существования того же процесса и для других химических элементов, находящихся в распаде, в том числе и для калия. Нахождение водородных струй в месторождениях калиевых солей может быть на это указывает.

Эти явления в течение геологического времени должны играть большую роль, в частности в истории свободного кислорода, водорода, явлений жизни.

Для радия можно дать минимальные числа.

В год грамм радия дает по крайней мере 10,95 литров (т. е. около 6 граммов) гремучего газа (5,9 г).

Общий эффект этого явления должен быть огромный.

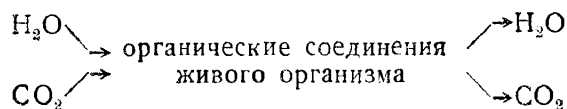
325. Наиболее ясно сейчас биохимические проявления. Здесь вырисовывается грандиозная картина синтеза и разложения молекул воды, которая может быть оценена в ее геохимическом эффекте, ибо мы видим кругом себя продукты разложения молекул воды в виде свободного кис-

лорода, нас окружающего, отложений нефти, каменного угля, гумуса наших почв и грязей, наконец в виде тех бесчисленных органических соединений, которые строят тела живых организмов. Это массы порядка многих  $10^{20}$ — $10^{21}$ , может быть даже  $10^{22}$  грамм, находящиеся в вечном изменении и нас всюду окружающие. Вся биосфера и стратисфера ими проникнуты.

Правда, во всех этих реакциях, в основе их, идет разложение не только воды, но и углекислоты. Но участие разложения воды в них не только необходимо, но и очень значительно.

Впервые почти сто лет назад в 1830-х годах И. Буссенго — вопреки указаниям Берцелиуса — выдвинул наличие этого процесса наряду с разложением углекислоты и его огромный масштаб в живой природе. Еще до Буссенго это явление предполагалось в конце XVIII и в начале XIX столетия, но только ему первому удалось дать прочное основание его.

326. Обратный вопрос — синтез воды — был выявлен раньше, еще в XVIII столетии, в теории дыхания и теплоты высших животных, Лавуазье, который рассматривал их, как проявления горения. Вода и углекислота получаются сгоранием — медленным окислением кислорода воздуха тех органических соединений, от разложения молекул которых они произошли. Существует равновесие.



Существуют сложные физиологические механизмы, отвечающие этому жизненному равновесию.

Представление Лавуазье в основе своей остается верным, хотя процесс идет более сложным путем, и аналогия с „горением“ отдаленная.

Одновременно идет и другой процесс разложения воды бактериальными процессами, связанными с распадом нитратов, сульфатов и т. п. Эти процессы, давно замеченные, еще в конце XVIII и в первой половине XIX столетия (А. Ф. Гумбольдтом и Т. де Соссюром), — были выяснены лишь в последние 30—40 лет, когда открылся целый ряд бактериальных организмов, их производящих.

327. В общем, во всем его объеме по отношению к воде, биогенетический процесс был охвачен в 1909 году пр. Я. Я. Никитинским.

Схема его — с необходимыми поправками — прекрасно выражает все явление (рис. 8).

Едва ли можно сомневаться в том, что эта схема захватывает лишь основные черты биохимического синтеза и разложения воды. Некоторые явления несомненно в ней не захвачены, например синтез воды, идущий из

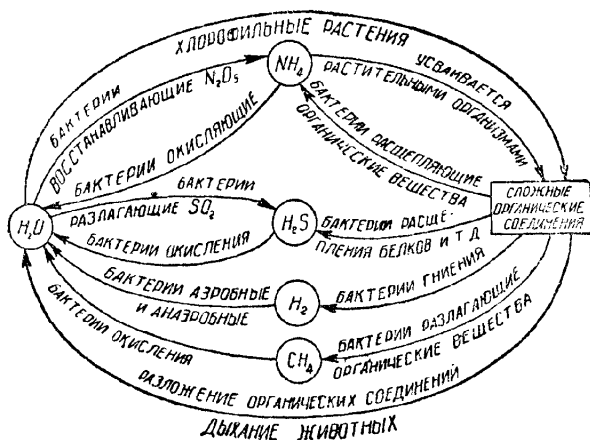


Рис 8

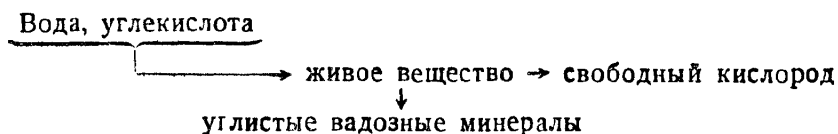
вестных условиях в животных организмах, например, в насекомых. Это процессы—мало изученные и, повидимому, не играющие роли при изучении явления в масштабе биосферы.

328. Эта схема дает только общие линии процесса. Она не отличает основного геохимического процесса, при этом происходящего,—выделения свободного кислорода.

Это выделение показывает, что круговой процесс, представленный схемой Я. Я. Никитинского, не вполне обратимый процесс, что часть вещества постоянно выходит из цикла и собирается в разн. образных органических соединениях в живом веществе и в свободном кислороде.

Количество свободного кислорода довольно точно известно и равно  $2.10^{21}$  г. Этому числу количественно точно отвечает количество углерода и связанного водорода, находящихся в конечных продуктах распада органического вещества—каменных углях, нефтях, гумусе, известняках и т. п. и в самом теле живых организмов (Вернадский, 1924). Ибо весь углерод и связанный водород этих природных образований взят жизненным процессом из  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , при чем впрочем часть кислорода этих тел остается в органическом веществе живых организмов и в продуктах их разложения. Из двух молекул (воды и углекислоты) уходит на образование свободного кислорода не три атома кислорода, а меньше,

К сожалению, количественные, неизбежно существующие, соотношения между массами реагирующих тел:



нам неизвестны.

Точно так же неизвестно, сколько в создании этого одного из основных равновесий биосферы приходится на долю воды и сколько на долю углекислоты.

Дело будущего — выяснение числовых, сюда относящихся, соотношений.

329. В этом процессе ясно сказывается обычно ярко проявляющаяся в истории природной воды диссимметрия строения земной коры. Можно сейчас ее наметить только в общих чертах.

Все указанные в схеме процессы идут несомненно и в океанах и на суше. Но те твердые тела, в виде которых углерод выходит из реакции, в обоих случаях различны. В то самое время, как углерод в океанах выпадает в виде известняков, главным образом в виде  $\text{CaCO}_3$ , углерод суши собирается в виде заключающих водород бедных или лишенных кислорода тел—углеводородов, каменных углей, битумов. Водород воды в продуктах этого процесса в океане, очевидно, в огромной части вновь возрождается (согласно схеме Никитинского), точно так же, как возрождается и углекислота. На суше водород, заключавшийся в воде, собирается в углях, нефтях, смолистых телах и главным образом в почве, в той тонкой органической пыли, проникающей в вещество биосферы, о которой много раз была речь. Другая часть водорода разложившейся воды собирается в живом веществе суши.

В океане только в грязи дна собирается этот водород, главная же часть его „сгорает“ в воду.

Это коренное различие (Вернадский, 1924) накладывает печать на всю биогенную миграцию атомов биосферы.

330. В биосфере существуют синтезы воды, связанные с живым веществом косвенным путем, через свободный кислород биосферы, всегда, по крайней мере в подавляющей своей массе, по происхождению биохимический.

Эти процессы несомненно имеют значение в механизме биосферы, но мало научно учитываются.

Такими местами синтеза воды являются прежде всего вулканические извержения.

При обычных в биосфере температуре и давлении кислород не окисляет водородистых соединений или водород с образованием воды, но в тех случаях, когда во время вулканических извержений в область биосферы выходят расплавленные лавы и раскаленные газы, идет синтез воды под влиянием кислорода воздуха. Идущие при этом реакции окисления поднимают температуру лав на несколько сот градусов. Окисляются с образованием воды  $H_2S$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$  и другие углеводороды, всегда в огромных количествах выходящие во время вулканических извержений на земную поверхность. Повидимому, в огромных количествах вод, выбрасываемых во время вулканического извержения, эта вновь образуемая новая вода имеет большое значение, составляет очень заметную часть ее общей массы.

Наряду с синтезом воды в вулканических процессах идет и ее разложение.

Оно вызывается например тем, что при взаимодействии при высокой температуре закисных соединений железа и паров воды—пары воды распадаются, а соединения закиси железа окисляются: выделяется водород. Это, например, резко сказывается — и может быть измерено для роговых обманок при высокой температуре (V. Вагнер, 1930).

Явление не охвачено систематически. Соотношение распада и синтеза воды точно в этих условиях не установлено, и необходимая поправка в только что указанное значение ювенильной воды в вулканические извержения не внесена.

331. В нашу психозойскую эпоху увеличиваются процессы синтеза и разложения молекул воды жизнедеятельностью человеческих обществ.

Среди этих процессов обращает на себя внимание тот синтез воды, который происходит благодаря сжиганию человеком огромного количества органических тел — нефти, углей, дерева, травяной растительности.

Одновременно с молекулами  $H_2O$  органические вещества дают  $CO_2$ , и мы сейчас знаем, что эта углекислота должна учитываться в природной массе этого тела, как заметное, важное явление в биосфере.

Количество водяного пара в атмосфере в несколько десятков раз (раз в 30) больше массы углекислоты, и потому процесс такого синтеза воды должен иметь меньшее значение в тропосфере, но с ходом времени и он должен быть очень заметен.

Он сейчас уже во много раз превышает тот независимый о человека процесс, который происходил в постплиocene до открытия человеком способа добычи огня: тогда только грозы вызывали в иных случаях сгорания выходов углей или пожары трав и лесов.

332. Можно здесь только отметить неизученный, но очень вероятный процесс синтеза и распада воды в пределах биосферы, связанный с действием озона, перекиси водорода и радиоактивного дыхания почв.

Для озона (I, § 245) главная часть процесса идет в стратосфере. Перекись водорода создается из воды и вновь в нее переходит, повидимому, в пределах биосферы.

То немного, что мы об этом знаем, будет указано в другом месте.

---

## VI. Минералы группы воды

### 1. Принципы классификации минералов группы воды

333. Подобно тому, как мы это имеем для других групп минералов, и в группе воды нельзя основываться при установке ее минералов только на химическом составе относящихся сюда тел.

Общие принципы классификации (I, § 217 сл.) здесь, конечно, выдерживаются: мы принимаем во внимание как химический состав и физическое состояние тел, так и те природные физические смеси, в которые входят химические соединения, сюда относящиеся. Но в этой группе чрезвычайно ясно сказывается необходимость новых диагностических признаков — неизбежность, связанная с тем особым положением, какое занимает вода в нашей планете. Ее исключительное значение в установке геосфер (§ 39 сл.), связанное с резким изменением состояния ее минералов в вертикальном разрезе планеты — и с диссимметрией земной коры, так ярко и таким основным образом отражающейся в истории природной воды (§ 74 сл.), выдвигает в этой группе минералов геолого-географические признаки на такое место, что их нельзя оставлять без внимания при классификации минералов этой группы. Они неизбежно будут здесь играть очень большую роль.

Эта роль еще увеличивается тем своеобразным, совершенно исключительным положением, какое имеют для морфологии природной воды частичные силы, проявление которых всецело зависит от положения воды в разрезе планеты — от ее близости к земной поверхности. Эти явления особенно резко проявляются в важной по массе и господствующей по числу минералов природной воде — в жидких ее фазах.

334. Сведем вкратце уже в первом охвате указанные деления (§ 207 сл.). Первоначальное основное деление минералов группы может быть сделано на основании физического состояния воды. Значение этого признака бросается в глаза: ясно, например, что толщи льда и морская вода не могут быть рассматриваемы как один и тот же продукт природных химических реакций, т. е. как один и тот же минерал.

И для природной воды, как это имеет место для всех минералов, твердые жидкие и газообразные фазы одного и того же химического состава будут разными ее минералами.

Исходя из этих соображений, можно выделить первые крупные подразделения природных вод — подгруппы.

Таких подгрупп можно выделить три:

- 1) Газообразные воды (пары воды).
- 2) Жидкие воды (растворы)
- 3) Твердые воды (льды).

335. Дальнейшее деление можно делать различным образом, выдвигая на первое место или признаки физико-химические, или же физико-геологи-

ческие, т. е. положение водных минералов в разрезе планеты. Как основное деление каждой подгруппы удобно принять деление на классы, связанное с концентрацией сторонних молекул воды тел, находящихся в растворах — жидких, газообразных, твердых. По существу это тот же классификационный признак, который мы применяли всюду в изоморфных смесях кристаллических минералов, но здесь раствор имеет другой характер (ср. I, § 182).

На основании концентрации природные воды — газообразные, твердые и жидкие — можно разбить на три основных класса:

Классы эти следующие:

1. Класс пресных вод.
2. Класс соленых вод.
3. Класс рассольных вод.

Каждая подгруппа делится на три класса.

Для определения концентрации вод обычно принимают во внимание только постоянные компоненты, не меняющиеся резко и непрерывно с изменением среды, с ее температурой, давлением, с газообразной средой. Только насыщенные растворы являются в этом отношении резко изменчивыми.

Но среди компонентов природных растворов есть компоненты газообразные, связь которых с окружающей средой огромна, и которые отражают эту среду чрезвычайно резко в свойствах самого раствора. Эти компоненты, на огромное значение которых указывалось (§ 218 сл.), не приняты во внимание при исчислении концентрации.

Концентрация и характер газов позволяет разбить классы вод на более дробные деления — на подклассы, ряды и подряды.

336. Дальнейшее деление может идти на основании свойств планеты, физико-геологических признаков, характера водовместилищ.

На этом основании выделяются царства, подцарства и семейства.

Царств можно различить три:

1. Царство поверхностных (наземных) вод.
2. Царство подземных вод.
3. Царство глубинных вод.

Все подгруппы и все классы разделяются на царства, и обратно. Подгруппа, класс и царство — равнозначные логически деления, из которых я условно беру за главное — подгруппы.

337. В царствах и в их подразделении выступают особенно ярко свойства планеты, а не свойства физико-химические, но те же свойства планеты по существу ярко обуславливают и классы и подгруппы.

Мы это видели уже в том основном делении, которое положено нами в основу первого большого разделения на подгруппы — физического состояния природных вод (§ 332). Жидкое, твердое, газообразное состояние природных вод тесно связано и с геологическим и с географическим местом вод в планете.

Точно так же с положением тела в планете связана, хотя и не всегда для нас ясным образом, и концентрация вод, на которой основаны классы.

Именно это обстоятельство — что свойства планеты, а не одни физико-химические явления вещества проявляются основным образом и в подгруппах, в классах и в царствах, — позволяет принять любое из этих подразделений для классификации природных вод, как исходное.

Минералогия изучает свойства планеты и физико-химические свойства вещества только как проявление этих свойств.

Нахождение той или иной воды в разрезе планеты или географическое место ее нахождения на поверхности планеты может считаться основным и быть принято как основное исходное положение в классификации вод. Вместо подгрупп можно за исходное принять царства.

Автор этого не делает только исходя из учета общей массы большого числа тех минералов, для которых физические состояния вещества играют основную, первостепенную роль (жидкое, газообразное, кристаллические) — более основную, чем условия их нахождения.

Но первостепенное значение царств и подцарств сказывается во всей классификации природных вод — в значении более дробных подразделений подцарств, какими являются семейства природных вод. Семейства выявляются на основании формы нахождения природных вод в земной коре: семейства озерных, болотных, речных, пластовых вод, вод минеральных источников и т. п. Это все обыденные понятия, выработанные жизнью. Семейства делятся на подсемейства и виды, на основании химического характера компонентов, но в этом химическом характере резко выражены как раз те физико-геологические (resp. физико-географические) явления, которые вытекают из условий, определяющих подцарства.

338. Эти деления, резко выраженные для жидких вод, могут быть целиком перенесены на газообразные и твердые их подгруппы.

Твердая вода — лед — содержит „соли“ и газы. Характер сторонних формуле  $H_2O$  компонентов в твердом льде может быть различен: с одной стороны мы имеем здесь твердый раствор, с другой — волосные включения соленых растворов и более крупные, но закономерные, тонкие примеси, как, например равномерно проникающей лед мути.

Так как этим путем создаются определенные разности льда с особыми условиями образования и особыми свойствами — можно различать и здесь, как в жидких водных растворах, классы льда — пресного, соленого, рассольного.

Точно также всегда природный лед проникнут газами, при чем можно различить два типа нахождения в нем газов. С одной стороны, надо допустить возможность растворения газов в твердом теле. Несомненно, с другой стороны, наблюдается проникновение льда бесчисленным количеством мельчайших пор и трещин, занятых газами. В глетчерном льде эти газовые включения находятся под давлением многих атмосфер (например, в Гренландском льде на глубине 7,5 м давление по Коху около 10 атм. на  $cm^2$ ).

Так как состав газов в льде разного образования в разных семействах различен, вполне возможно и правильно и здесь отличать подклассы на основании газового состава льдов.

Возможность различения семейств на основании физико-географических или геологических условий образования и месторождений льда совершенно ясна, — например, речной, озерной, глетчерный льды явно и резко отличаются и по своей истории и по своим свойствам.

Не возбуждает никаких затруднений применение тех же принципов и к газовым разностям воды. Состав газов, примешанных к водяным парам, определяет их подкласс, а их количество — класс. Семейство точно определяется физико-географическими и геологическими признаками.

Таким образом все три подгруппы воды — твердая, жидкая и газообразная — основываются в дальнейшей более дробной классификации на одних и тех же параметрах.

339. Если в этом делении параметры, отвечающие фазам (подгруппы) и химической концентрации, входящих в состав элементов (классы), — равно как и дальнейшее, более дробное, деление на виды и подвиды по преобладающим химическим элементам концентрации — входят, в общем, в рамки обычной химической классификации минералов (хотя бы, например, и той группы самородных элементов, которая рассмотрена в первой части настоящей „Истории“), — этого отнюдь нельзя сказать про параметры, устанавливающие подклассы с рядами и царства с семействами.

Их выбор определяется особым положением воды в земной коре — проникновением ею больших и разнообразных масс всех геосфер и неизбежностью для нее различных, в разных условиях, равновесий, создающихся стихийно при простом соприкосновении ее с сторонними ей телами.

Четыре свойства природной воды — ее массовое нахождение во всех геосферах, неизбежность для нее захватывать газы путем растворения, учитывая проникновение газами всей земной коры, способность ее растворять при соприкосновении в земных условиях огромное количество разнообразных природных тел и создавать (под влиянием частичных сил при тех же условиях) разнообразные коллоидальные системы, резко отражающиеся на физической структуре водных растворов и соприкасающихся с ними сторонних тел — определяют для нее эти несколько особые принципы классификации. Ибо естественная классификация должна основываться на самых важных чертах истории и свойств природного тела; она не есть логически стройная отвлеченная система.

Нахождение и значение природной воды во всех геосферах (при резком изменении ее свойств в них) определяет необходимость включения в классификацию природной воды геологических признаков, а особое положение в термодинамическом поле биосферы (т. е. поверхности планеты) ее точек перехода теснейшим образом связывает минералогию воды с географией планеты, и определяет то значение, какое географические признаки приобретают в ее классификации.

До известной степени те же вопросы стоят и при классификации природных газов (I, § 234). Но там явление проще, так как разнообразие природных вод несравнимо по численной своей величине с разнообразием природных газов.

340. Особенно резко выступает значение геологических и физико-географических явлений в классификации природных вод, благодаря преобладанию среди них по весу жидких фаз и их разнообразию.

Это преобладание жидких форм природных вод, возможно является не вполне реальным явлением; может быть, воды парообразные в действительности захватывают большую массу, учитывая всю земную кору до 60 км. Но в области нам доступной (сейчас для нашего знания) жидкая вода преобладает. Это видно и из рассмотрения известных нам видов природных вод (§ 354 сл.).

Два свойства жидких масс отделяют их резко — как минералы — от минералов и масс твердой материи. Оба эти свойства находятся в причинной связи. Во первых, быстрый темп изменений, какие представляет жидкое динамическое равновесие, по сравнению с равновесием тел твердых. И, во вторых, малая четкость формы — внешней морфологии скоплений капельножидких природных растворов. Они принимают форму того вместилища, в каком находятся. В том же случае, когда в волосных проявлениях жидких систем морфология внешней формы проявляется более резко — для природных вод явление теснейшим образом связано с физико-географическими и геологическими условиями нахождения природных водных растворов.

Благодаря отсутствию четкой морфологии, связанной с внутренним строением тела, приобретают для жидких минералов огромное значение морфологические и геологические условия их нахождения, их генезиса.

Они получают это значение потому, что динамическое равновесие для жидкой системы останавливается чрезвычайно быстро: вода быстро приходит в статическое равновесие, приняв форму своего вместилища.

341. В твердых телах эти явления выражены менее резко, и в огромном большинстве случаев их внешняя морфология — особенно морфология их кристаллов — является первостепенного значения классификационным



признаком. Поэтому лишь очень медленно уяснилось представление о твердых минералах, как физико-химических динамических равновесиях, находящихся в непрерывном изменении. Эти системы в подавляющем большинстве случаев обладают значительным сопротивлением по отношению к окружающей среде, они обладают значительной инерцией, и их изменение связано с огромным трением. Поэтому обычно оно выявляется только с ходом времени и нередко становится заметным только в масштабе геологического времени.

Но среди них есть образования, в которых геолого-географические условия, свойственные твердым минералам, выступают на первое место. Таковы, во-первых, подвижные образования — богатые водой — изменяющиеся периодически в связи с изменением внешней среды — тела коллоидальные, разных форм гели, характерные для биосферы, для почв, торфяников, сапропелей, железных шапок и т. п. В наших классификациях, в которых видное место занимает химический состав, тела эти распределяются в самые различные группы минералов — органические соединения, ферри- и алюмосиликаты, сернистые соединения и т. п.

Другой формой таких твердых минералов являются тела кристаллические, точки перехода которых из одной фазы (твердой, жидкой, газообразной) в другую лежат в термодинамических оболочках, минералогия которых нам известна, или лежат даже в пределах одной и той же оболочки.

К числу таких минералов относятся как раз минералы воды подгруппы твердых их фаз.

Для таких минералов явления физико-географического и геологического характера приобретают первостепенное значение, так как резко обуславливают их морфологическое строение.

Эти геолого-географические факторы должны быть параметрами классификации таких твердых фаз не в меньшей степени, чем для слабо внешне морфологически индивидуализированных капельножидких и газообразных водных минералов.

342. Надо принимать во внимание еще одну особенность состава природных вод — преимущественно жидких, но также твердых и газообразных, — которая заставляет выдвигать физико-географические и геологические условия нахождения природных вод на видное место в их классификации.

Это — чрезвычайная зависимость компонентов, определяющих состав природных вод от этих условий. Так прежде всего газы, которые в водном растворе обладают своим парциальным давлением, находятся в материальной неразрывной связи с газами окружающей среды. Очевидно, и их состав и их количество определяется географическими и геологическими условиями местонахождения природных вод.

Но эти условия в меньшей степени определяют и другие компоненты воды; только принимая их во внимание при классификации, мы вводим в классификацию такие, иногда важные компоненты, которые не попадают ни в понятие концентрации природных вод, устанавливающие класс, ни в понятие господствующих в виде химических элементов. Такие компоненты, как элементы в распаде, мути, микробы, водородные ионы — все находится в теснейшей связи и с географическими и с геологическими условиями, и при определении по ним местонахождений природных вод могут и учитываться, предвидеться и правильно располагаться в основанной на них классификации.

Но помимо этих всегда важных условий, в настоящее время, когда и состав химический и физические свойства природных вод мало изучены, геологические и географические признаки приобретают совершенно исключительное значение. Без них научная классификация вод невозможна.

Достаточно, например, вспомнить, что количественные и качественные данные о газовых компонентах большинства подземных вод отсутствуют. Однако, географические и геологические условия, принятые во внимание как классификационные признаки, позволяют правильно в общем располагать эти мало изученные воды немедленно: ибо характер земных газов есть функция глубины от поверхности планеты.

343. Нельзя наконец при этом не учитывать и того, что этим путем в классификацию минералов стройно и логически правильно проникает явление, классификационное значение которого первостепенное, и которое при более полном знании должно было бы определять естественную классификацию всякого минерала, — о но (а не концентрация или газовые компоненты) должно было бы определять подгруппы.

Я не ввожу его только потому, что эмпирический материал недостаточен для того, чтобы с пользой можно было его положить в основу классификации всех минералов.

Явление, которое я имею в виду, названо мной здесь геологическими свойствами и местонахождения воды. Анализ этого понятия, даже самый поверхностный, сразу указывает на его коренное различие с географическим параметром классификации. Это два резко различные явления, которые должны были бы рассматриваться отдельно. Геологический фактор классификации в сущности сводится к определению той геосферы, в которой данная вода находится.

В практику жизни и в научный обиход это понятие было — для воды — введено Э. Зюссом (для минеральных источников).

Сейчас можно различить — с некоторой точностью (все меньшей по мере углубления) — воды разных глубин:

Воды биосферы	— вадозные	} фреатические
• статисферы	— осадочные	
• метаморфической оболочки	— метаморфические	
• магмосферы	— ювенильные	

Это деление общее для всех минералов. Оно резко сказывается в понятии царств (и связанных с ними семейств), которое могло бы легко быть расширено и выражено в виде геосфер, если бы имелась возможность точно определять происхождение воды. К сожалению, это даже для царства подземных вод часто невозможно, а для глубинных едва намечено.<sup>1</sup>

Так как значение всякой научной классификации всегда определяется удобством пользования, практическим удобством, — я не буду в классификацию вводить деление вод по геосферам, учитывая, что она проявляется в общем, в царствах и семействах вод (всех их фаз). Однако, всюду, где возможно, буду, употребляя данные здесь термины, указывать, к какой геосфере относится вода. Эти термины отвечают с большим уточнением понятиям, введенным для воды Зюссом (кроме вод стратисферы, которая им не различалась, как таковая).<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Мы изучаем все воды в биосфере, поэтому все нижележащие воды всегда при выходе на поверхность смешиваются и всегда содержат большее или меньшее количество вадозных вод. Лишь в исключительных случаях удается получать чистые воды царств подземных и глубинных вод. Это резко сказывается и на газах.

<sup>2</sup> Эти термины надо употреблять — при современном состоянии знаний с большой осторожностью. Сейчас в научной литературе скопилось огромное число ошибочных определений: геосферу определяли геологи логически (и постоянно ошибались), а не эмпирически. Приходится сейчас очень осторожно относиться к геологическим определениям ювенильного и фреатического характера вод.

## 2. Химическая классификация природных водных растворов

344. Дальнейшая, более дробная, но основная, группировка минералов воды совершается по химическим признакам.

Но и для этой химической классификации — благодаря особенностям природных растворов — необходимо внести некоторые изменения в наши представления и оттенить некоторые понятия.

Те примеси, которые играют роль в природных растворах и придают им не встречающиеся в других случаях особенности, чрезвычайно разнообразны. Как указано, можно отличить по крайней мере пятнадцать их типов (§ 203), характеризующих разные природные воды.

Далеко не все компоненты удобно брать, как классификационные признаки. Два или, вернее, три из них взяты для отделения классов и подклассов; ионы и гидратные комплексы послужат основой дальнейших более дробных подразделений.

В основу их берутся, (§ 264), твердые компоненты настоящих растворов химии.

Однако бывают случаи, когда мицеллы коллоидальных растворов или сторонние тела муты приобретают такое значение, что могут отличать разности воды, таковы, например, кремнеземистые воды гейзеров, где на видное место выступает тончайшая взмученная коллоидальная сера.

345. Огромное значение имеет реально вода, переполненная жизнью, главным образом, бактериями.

В точную научную классификацию обычно она не входит, но в житейской практике, в технике жизни, совершенно правильно отличают воды, богатые бактериальной жизнью от обычной воды, так как все химические и физиологические свойства таких природных вод резко отличны и своеобразны.

Особенно резко сказывается это влияние жизни в связи с тем изменением, которое вносит в структуру вод культурная жизнь человека. Отсутствие или присутствие жизни, ее чрезвычайное развитие или, наоборот, чрезвычайное угнетение — должно учитываться при классификации этих измененных человеком вод, „загрязненных“ вод, приобретающих все большее и большее значение в биосфере.

Этого рода компоненты должны учитываться и в неизмененных человеком иловых водах водных бассейнов, в почвенных растворах.

Богатство (или бедность) микробной жизнью и теоретически не может быть параллелизовано с загрязнением воды механической мутью.

Вода, переполненная бактериальной или иной микрофлорой, резко отличается от мутей тем, что рассеянные в ней живые тельца являются центрами разнообразных новых химических изменений.

Среди этих изменений имеются такие важные, как изменение или создание газов; поэтому и для вод сероводородных, например, необходимо отличать воды с биогенным сероводородом, т. е. воды с определенной микрофлорой, от других сероводородных вод.

Конечно, таким диагностическим признаком может являться только жизнь, идущая в поле молекулярных сил, которая входит в число компонентов природных растворов (§ 203).

Если бы требовалась более тонкая классификация вод, то значение живого населения выступило бы еще с большей рельефностью, как это имеет место для гигиенической и физико-географической классификации пресных вод, где имеет значение фауна и флора не только микроскопических организмов, но и крупных. Известно, как тонко жизнь отзывается на химизм воды. Гидробиологи указали, что в изучении флоры и фауны живых организмов гравитационного поля мы имеем более чувствительный реактив на состав вод, чем те, которые употребляют точнейшие экспериментаторы в физико-

химических лабораториях. Изучение жизни вскрывает более глубокие проявления мира, чем самые точнейшие методы физики и химии.

В классификации природных вод надо временами, для определенных целей, пользоваться биологическим их анализом и учитывать результаты этой работы. Но это признаки для более дробных делений, чем в виды природных вод.

То, что явления водной жизни не входят обычно в характеристику природных вод, рассматриваемых как минерал или изучаемых с точки зрения их химического состава, основано не на каких-нибудь объективных основаниях, а на привычке и научной рутине.

346. Следует еще подчеркнуть своеобразие в структуре воды тех компонентов природных жидких растворов, которыми мы пользуемся для их классификации.

По нашим современным представлениям часть этих компонентов так или иначе проникает или тесно связывается с молекулами воды, тогда как другая располагается между молекулами и их прямо не изменяет.

Можно следовательно различить два типа компонентов (§ 203):

I. Располагающиеся между молекулами воды, их прямо не изменяющие:

живое вещество, мицеллы, муть, газообразные компоненты.

II. Тесно связанные или проникающие молекулы воды: твердые химические компоненты (ионы и комплексы), жидкие химические компоненты, рассеянные элементы.

Для классификации природных вод имеют значение компоненты обоих типов.

347. Итак подгруппы (§ 334) — (в том числе — природные растворы) делятся по компонентам II типа (концентрация ионов и молекул) на 3 класса; каждый из этих классов делится на подклассы по компонентам I типа (газы). Подклассы, входя в царства и подцарства, делятся на семейства — вне химических компонентов.

Семейства делятся на виды, вновь на основании компонентов одновременно и I и II типов — так как в основу будут положены химические элементы, находящиеся в воде, открываемые при анализе, — при чем безразлично, входят ли эти элементы в живое вещество, в мицеллы, в газы, в твердые и в жидкие компоненты или отвечают свободным рассеянными атомам.

Вид будет определяться преобладающими в природной воде атомами, за исключением атомов водорода и кислорода, в порядке их распространенности.

Подвиды или разновидности могут быть выделены по отдельным менее распространенным элементам, если их концентрация в данной воде сильно выходит за пределы обычных для данного элемента величин (например, для Ra, As, Li и т. п.). Можно пользоваться с этой целью и другими явлениями, например, количеством бактериальной жизни, большим количеством органических солей и т. п.

Я буду останавливаться главным образом на видах, указывая в отдельных случаях на возможные разновидности.

Практически можно пользоваться солевым остатком, получаемым при выпаривании, как для определения класса, так и при его дальнейшем анализе для определения вида, внося в элементарный анализ поправки: первую — на кислород, согласно составу ионов (§ 264) или солей гидратных комплексов (§ 267); другую поправку надо делать на растворенные газы, беря числа из газового анализа воды в весовых процентах.

Последняя поправка прибавляется к солевому остатку, полученному из анализа, значительно его в некоторых случаях увеличивая. Минимальный солевой осадок порядка  $10^{-6}\%$  вырастает неизбежно до чисел порядка  $10^{-3}\%$ .

348. Виды природных растворов, так определенные и выраженные, в пределах наблюдаемых колебаний количественных весовых процентов химических элементов, обычно дают тела, довольно резко отличающиеся друг от друга.

Но при большой подвижности в земной коре разные воды, наблюдаемые иногда в чистом виде, дают и воды смешанные. Границы между химическим составом видов природных растворов этим путем могут сглаживаться. Но все же в огромном большинстве случаев нет надобности менять принцип классификации. Надо принимать существование переходов, как реальное природное явление, могущее существовать для определенных видов природных вод и требующее научного изучения.

Как во всех природных процессах, здесь нет случайности. Это — закономерное явление, и в отдельных случаях мы должны рассматривать такие природные смеси, как отдельные минералы. Таковы, например, речные воды. Речная вода образуется, благодаря закономерному смешению и дальнейшей переработке вод метеорных, почвенных, вод луж, и верховодок. Можно отличить два типа речной воды: 1) с преобладанием компонентов  $\text{Na}—\text{Cl}—\text{SO}_4$ , и 2) компонентов  $\text{Na}—\text{Ca}—\text{CO}_3$ . Различие обусловлено интенсивностью биохимических процессов, определяющими речную воду, водами почвенными и поверхностными.

В чистом виде эти воды встречаются в небольших реках или в некоторые времена года на отдельных участках большой реки, но обычно в истории каждой реки, особенно большой, состав ее отвечает смеси пресных растворов этого различного характера компонентов — часто с преобладанием одной какой-нибудь воды (§ 614).

Природные смеси вообще являются чрезвычайно распространенными в биосфере, среди вадозных вод, и очевидно, согласно общим принципам классификации минералов (§1, 217 сл.) должны быть выделены в отдельные минералы, как мы выделяем в отдельные минералы многие твердые изоморфные смеси (например, среди полевых шпатов — олигоклаз, андезин и т. п., среди ромбических пироксенов — бронзит, энстатит и т. п.).

Подобно тому, как это наблюдается и для твердых минералов — нет возможности дать для этого общие правила, и надо решать каждый раз задачу оценки данного раствора отдельно.

Закономерные смешения являются обычно среди вод одной геосферы (например, в пределах биосферы).

Вопрос усложняется при смешении разных вод, например, вод поверхностных и вод минеральных источников или пластовых. Здесь эти смешения могут быть рассматриваемы, как механические смеси разных минералов.

Имея дело с подвижным равновесием легко перемещающихся масс и учитывая геолого-географические условия, как классификационный признак, очевидно минералога должен интересоваться конечный устойчивый продукт, а не быстро преходящие промежуточные стадии.

Прекрасным примером служит океаническая вода, резко отличная от всех вод планеты, хотя в нее непрерывно вливаются воды разного химического состава и разных классов.

349. Аналогия с твердыми минералами может быть проведена глубже.

Среди природных вод есть случаи закономерных физических смесей, которые необходимо учитывать как отдельные минералы.

Сюда должны быть сейчас же выделены некоторые из дисперсных систем, значительная часть которых — обычные гели и золи — отнесена в данной классификации к водным растворам.

Тела этого типа мало изучены и мало обращают на себя внимание.

В таблицу вод помещены некоторые из них, какие сейчас возможно выделить.

Несомненно в ближайшее время в эту область придется внести значительные изменения.

Несколько соображений и указаний надо сделать и сейчас.

350. Для твердых фаз воды сюда могут быть отнесены, правда с некоторым сомнением, те аморфные образования, в которых застывают иногда капли воды, давая аморфные образования, возможно представляющие формы переохлажденной жидкой воды. Эти образования, может быть, вовсе не редкие для верхних частей тропосферы, могут считаться особой однородной физической фазой воды. В ее истории эти образования, иногда неправильно называемые ее коллоидальными состояниями, сейчас не выяснены в своем значении, и в дальнейшем автором почти не затрагиваются, Это аналоги стекол, а не гелей.

Несомненно, что тела эти заслуживают внимания и исследования. Интересно выяснить их газовый режим.

351. В истории жидких фаз воды физически неоднородные формы — физические смеси — имеют важное значение.

Это прежде всего формы с преобладанием пленок жидкостей, их измененных поверхностным натяжением молекулярных систем.

Можно различить несколько типов таких смесей. С одной стороны это пенистые массы, переполненные газами в данном случае воздухом, в которых на первое место выступают поверхностные свойства жидкостей.

К физическим же смесям могут быть отнесены и те тонкие пленки, которые наблюдаются на поверхности природных вод. Их нельзя отнести к растворам, так как свойства поверхностных пленок жидкостей совсем не отвечают свойствам растворителя водного раствора.

Здесь, повидимому, всегда наблюдается изменение химического состава этих пленок по сравнению с той массой воды, на которой они лежат. Не исключена возможность, что иногда они стлчаются химически очень резко от природной воды, на которой наблюдаются, и должны быть отнесены к другим группам минералов. Очень часто такие тонкие — может быть мономолекулярные — пленки органических соединений покрывают огромные пространства природных водных бассейнов.

Однако, в других случаях связь их по составу с субстратом, на котором они наблюдаются, — своеобразный золь или раствор — несомненна.<sup>1</sup>

В явлениях живого вещества и кристаллизации воды водных бассейнов эти образования играют большую роль.

Волосные и пленочные воды твердых и рыхлых тел земной коры должны быть отнесены сюда же. Таковы же почвенные „растворы“. Эти явления только затронуты строгой научной мыслью.

352. Положенная в основу изучения минералогии природных вод классификация, очевидно, во многом отличается от многочисленных классификационных попыток, которые делались в этой области.

Я не считал возможным останавливаться здесь ни на их изложении, ни на их критике — не останавливаюсь и на историческом ходе наших представлений в этой области. Лишь попутно иногда касаюсь некоторых из них по мере надобности.

Считаю возможным это делать, исходя из следующих двух соображений.

Во первых, предлагаемая классификация природных вод есть неразрывная часть общей классификации минералов, и рассматривает все природные воды, как минералы одной и той же группы. И во-вторых, она охватывает все формы природных вод без исключения.

Благодаря этому она стоит в стороне от других классификаций природных вод, которые все захватывают только отдельные семейства вод

---

<sup>1</sup> К этим телам не могут быть все же целиком приложимы обычные наши представления о растворе, так как и строение и свойства поверхностных пленок жидкостей резко отличны от тех жидкостей, которые являются растворителями растворов. Явление недостаточно изучено, но, вероятно, найдет себе место среди физических смесей — I, § 180.

(например, классификации минеральных вод) или в лучшем случае царств — и то их части — (например, царство подземных вод — и пластовых вод принятой здесь классификации, как например, классификация В. Линдгрена). Еще дальше от нее стоят классификации вод прикладного характера (например, в связи с санитарными требованиями). Геохимическая классификация Ф. Кларка тоже оставляет без внимания множество вод, здесь рассматриваемых.

### 3. Список минералов группы природной воды

353. Учитывая, конечно, невозможность дать полную картину явления, можно все же попытаться дать представление о состоянии наших знаний, сведя вместе все нам известные формы природной воды, которые мы можем — по указанным основаниям — рассматривать как ее отдельные минеральные виды, дать список этих видов.

Огромное большинство их плохо изучено.

Из рассмотрения списка совершенно ясно, что он охватывает лишь небольшую часть — может быть, менее 25—30% существующих и встреченных нами тел. Он явно сильно пополнится, как только изучение природных вод войдет в задачи минералогии.

В список включено больше 480 видов природных вод, при чем в некоторых случаях (например, почвенные растворы, алюмосиликатные и силикатные соленые воды и т. п.) можно только в общих чертах указать семейство, не разделяя его на виды.

Количество всех видов много превысит 1500.

Отсутствие или, вернее, немногочисленность анализов растворенных газов мешает установить в очень многих случаях с нужной и возможной точностью подклассы. Это основной — конечно временный — недостаток классификации.

Но по соображениям выше указанным, считаясь с огромным значением этого явления для понимания истории природных вод, я вполне убежден, что этот недостаток будет быстро пополнен, как только сознание его значения распространится среди ученых. Уже для поверхностных вод за последнее десятилетие количество определений — хотя и в неполном раз-  
мере — быстро растет. Необходимо вызвать систематический анализ растворенных газов, определяющих подклассы для пластовых вод и восходящих вод.

Для некоторых важнейших вод — как это видно из списка — можно указать только подцарства, для многих — только семейства.

Но давая этот список со всеми неизбежными пропусками, считаю его полезным, так как он позволяет сразу видеть неполноту и недостаточность наших знаний и, очевидно, должен вызвать дальнейшую работу.

Это, насколько знаю, первая попытка систематики природных вод и, конечно, она обладает всеми недостатками первых начинаний.

Весь вопрос в том, верно ли намечены основные линии, принципы, классификации. Если, как мне кажется, они в основных чертах намечены правильно — дальнейшая работа пойдет в их рамках, и предлагаемый обзор будет иметь научное значение.

Он будет иметь его и в том случае, если будут найдены другие какие-нибудь приемы классификации, так как, вызовет своим существованием критику и, являясь первым началом, ставит проблему, в науке раньше не поставленную.

Охватывая, как это ясно, меньше трети а, вероятно, еще много меньше — существующих природных вод (если исходить из видов), — список и с этой точки зрения может казаться мало пригодным для сколько-нибудь крупных выводов. Однако, для крупных делений он охватывает большую часть суще-

ствующих вод и дает реальную возможность при дальнейшем развитии охватить все природные воды.

В нижеследующем списке я не ввожу подклассы, но в примечаниях указываю вероятные или реально установленные подклассы.

Виды разных подклассов получают свою нумерацию, и в порядке чисел видов установленные подклассы, таким образом, могут учитываться.

354. Нам известны сейчас следующие природные воды.

## ПЕРВАЯ ПОДГРУППА. ТВЕРДЫЕ ФАЗЫ ВОДЫ

### Класс I. Пресные формы твердой воды

#### *Царство первое:*

### Поверхностные твердые воды

#### *Подцарство I*

#### Метеорные твердые воды

#### *Семейство I. Тучи и облака*

##### *Виды:*<sup>1</sup>

1. Снег
2. Крупа<sup>2</sup>
3. Град
4. Ледяной дождь<sup>3</sup>
5. α-Изморозь<sup>5</sup>
6. Твердый излет
7. Гололедица (Ожеледь)<sup>4</sup>
8. β-Изморозь<sup>5</sup>

354

#### *Подцарство II*

#### Наземные пресные льды<sup>6</sup>

#### *Семейство 2:*<sup>7</sup> Выцветы

<sup>1</sup> Все относится к подклассу  $N_2 - O_2$ . Возможно, но не установлено существование подкласса  $N_2 - O_2 - CO_2$ .

<sup>2</sup> Может быть, есть аморфные формы. Должны будут быть выделены в отдельный вид.

<sup>3</sup> Возможен другой состав газов, не  $N_2 - O_2$ , а и  $CO_2$ , ибо лед выделяется, должен быть, из переохлажденных капель. Возможно аморфное состояние.

<sup>4</sup> Возможен подкласс  $N_2 - O_2 - CO_2$ .

<sup>5</sup> Вероятно, есть два явления — два вида льда — изморозь собственно (ветряная изморозь) и льдистая мгла — замерзший туман. Последний может быть богат  $CO_2$ .

<sup>6</sup> Вопрос о кристаллическом классе льда рассматривается во второй части „Истории природных вод“. Возможны проявления полиморфизма льда в условиях биосферы, например, существование при замерзании в особых условиях неустойчивой разности льда IV<sup>1</sup>. Тамм а н а (лед более тяжелый правильной системы?).

<sup>7</sup> Вероятно, все принадлежат к подклассу  $N_2 - CO_2 - O_2$ .

##### *Виды:*

9. Иней<sup>8</sup>
10. Почвенные выпчеты<sup>9</sup>
11. Сталактиты льда

#### *Семейство 3: Лед стоячих вод*

##### *Виды:*

12. Озерный пресный лед<sup>10</sup>

#### *Семейство 4: Лед текучих вод<sup>11</sup>*

##### *Виды:*

13. Речной лед
14. Донный лед<sup>12</sup>
15. Паледи

#### *Семейство 5: Снежные покровы*

##### *Виды:*

16. Снежальный снег
17. Фирновый снег

#### *Семейство 6: Глетчерный лед<sup>13</sup>*

##### *Виды:*

18. Лед альпийских глетчеров
19. Лед материкового ледника<sup>14</sup>
20. Фирновый снежальный снег

#### *Семейство 7: Пещерный лед*

##### *Виды:*

21. Лед ледяных пещер<sup>15</sup>
22. Лед открытых глубоких выпадин<sup>16</sup>

#### *Семейство 8: Пресный лед в гидросфере*

##### *Виды:*

23. Ледяные горы (Айсберги)

<sup>8</sup> Может быть, есть и другая полиморфная разность, не гексагональной системы. Если это подтвердится, будет два вида инеев.

<sup>9</sup> Возможен подкласс  $CO_2 - N_2 - O_2$ .

<sup>10</sup> Подкласс  $N_2 - CO_2 - O_2$ . Лед высокогорных озер д. б. принадлежит к подклассу  $N_2 - O_2$ .

<sup>11</sup> Должно быть почти всегда подкласс  $N_2 - CO_2 - O_2$ .

<sup>12</sup> Может быть иногда подкласс  $CO_2 - N_2$ .

<sup>13</sup> Подкласс  $N_2 - CO_2 - O_2$ .

<sup>14</sup> В нижних частях и внутри подкласса:  $N_2 - CO_2$ .

<sup>15</sup> Должно быть подкласс  $CO_2 - N_2 - O_2$ .

<sup>16</sup> Бедный  $CO_2$ .



355.

*Царство второе:*

**Подземные льды<sup>1</sup>**

*Подцарство III*

**Льды биосферы**

**Семейство 9: Вечная мерзлота**

*Виды:*

24. Вечная подпочвенная мерзлота

25. Ледяные жилы

**Семейство 10: Ископаемые ледниковые слои**

*Виды:*

26. Ископаемые ледники постплиоценового оледенения

356.

**Класс II: Соленые разности твердых фаз воды**

*Царство третье:*

**Поверхностные льды**

*Подцарство IV*

**Наземные льды**

**Семейство 11: Морской лед**

*Виды:*

27. Морской лед<sup>2</sup>

**Семейство 12: Озерные льды<sup>3</sup>**

*Виды:*

28. Лед, богатый Na — Cl

29. Лед, богатый сульфатами<sup>4</sup>

357.

**Класс III: Рассольные разности льдов**

*Царство четвертое:*

**Поверхностные льды**

*Подцарство V*

**Наземные льды**

**Семейство 13: Морские льды**

*Виды:*

30. Морской твердый рассол

**Семейство 14: Озерные льды**

*Виды:*

31. Озерный твердый рассол

358.

## ВТОРАЯ ПОДГРУППА: ГАЗООБРАЗНЫЕ ФАЗЫ ПРИРОДНЫХ ВОД

**Класс IV: Пресные формы газообразных вод**

*Царство пятое:*

**Наземные пары**

*Подцарство VI:*

**Метеорные воды<sup>5</sup>**

**Семейство 15: Водяные пары далеко от поверхности суши**

*Виды:*

32. Водяные пары стратосферы<sup>6</sup>

33. Водяные пары тропосферы<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Должно быть подкласс  $\text{CO}_2 - \text{N}_2$ ?

<sup>2</sup> Должно быть подкласс  $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{O}_2$ .

<sup>3</sup> Должно быть  $\text{N}_2 - \text{CO}_2 - \text{O}_2$ .

<sup>4</sup> Вероятно, есть разности Na — Cl и сульфатные. Подкласс  $\text{N}_2 - \text{CO}_2 - \text{O}_2$ ?

<sup>5</sup> Все водяные пары принадлежат к первому ряду метеорных вод: если бы мы могли выделить сейчас подклассы, воды должны быть отнесены к ряду  $\text{N}_2 - \text{O}_2$ , содержащих  $\text{CO}_2$ .

<sup>6</sup> В парах стратосферы возможно исчезает  $\text{CO}_2$ .

**Семейство 16: Ионы**

*Виды:*

34. Водяные ионы<sup>8</sup>

**Семейство 17: Водяные пары около поверхности биосферы<sup>9</sup>**

*Виды:*

35. Надпочвенные водяные пары

36. Пары в областях туманов

<sup>7</sup> Водяные пары тропосферы должны быть меньше связаны с  $\text{CO}_2$ , чем водяные капли.

<sup>8</sup> Рассмотрение водяных ионов, как формы газообразной воды, конечно может возбуждать сомнение. Вероятно, правильнее выделить их как отдельную фазу воды и поместить их, как четвертый класс вод. Так как я здесь не касаюсь их в сколько-нибудь достаточной степени — для моей цели возможно помещение их среди форм газов, с которыми они разделяют многие свойства.

<sup>9</sup> Водяные пары здесь попадают в атмосферу, состав которой — благодаря богатству  $\text{CO}_2$  — очень отличен от состава обычного воздуха.

359.

*Царство шестое:*

**Подземные пары**

*Подцарство VII:*

**Пары биосферы<sup>1</sup>**

**Семейство 18:** Почвенные водяные пары

*Виды:*

37. Почвенные водяные пары

**Семейство 19:** Гейзерные пары<sup>2</sup>

*Виды:*

38.  $\text{CO}_2 - \text{NH}_3$

39.  $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{S}$

**Семейство 20:** Вулканические пары<sup>3</sup>

*Виды:*

40.  $\text{CO}_2$

41.  $\text{HCl}$

42.  $\text{SO}_2$

43.  $\text{SO}_3$

360.

*Подцарство VIII:*

**Пары стратисферы и метаморфических областей<sup>4</sup>**

**Семейство 21:** Щелочные пары

*Виды:*

44.  $\text{NH}_3$

**Семейство 22:** Кислые пары

*Виды:*

45.  $\text{H}_2\text{S}$

46.  $\text{CO}_2$

47.  $\text{Cl}$

361.

**Класс V:** Соленые формы газообразных вод

*Царство седьмое:*

**Наземные пары**

*Подцарство IX:*

**Метеорные пары**

**Семейство 23:** Пары соленых туманов<sup>5</sup>

*Виды:*

48.  $\text{Na} - \text{Cl}$

<sup>1</sup> Подкласс  $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{O}_2$ .

<sup>2</sup> Кислород вторичный из атмосферы и биосферы вообще. Всюду  $\text{N}_2$ .

<sup>3</sup> Кислород вторичный. Часть (или весь?)  $\text{N}_2$  из атмосферы. Часть  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$  получаются в биосфере окислением  $\text{H}_2\text{S}$ . Нормально до выхода в биосферу сера в виде  $\text{S}$ , паров серы и  $\text{H}_2\text{S}$ .

<sup>4</sup> Кислорода нет. Всюду  $\text{N}_2$  и  $\text{CO}_2$ .

362.

*Царство восьмое:*

**Подземные пары**

*Подцарство X:*

**Подземные пары биосферы**

**Семейство 24:** Вулканические пары<sup>6</sup>

*Виды:*

49.  $\text{H} - \text{Cl}$

50.  $\text{H} - \text{Cl} - \text{F}$

51.  $\text{H} - \text{S}$

52.  $\text{CO}_2$

53.  $\text{SO}_2$

54.  $\text{N}_2$

55.  $\text{N}_2 - \text{CO}_2$

56.  $\text{N}_2 - \text{CO}_2 - \text{SO}_2$

**Семейство 25:** Гейзерные пары<sup>8</sup>

*Виды:*

57.  $\text{CO}_2$

58.  $\text{N}_2$

*Царство девятое:*

**Глубинные пары<sup>9</sup>**

363.

*Подцарство XI:*

**Пары метаморфической оболочки<sup>10</sup>**

**Семейство 26:** „Сухие трещины“ — пары

*Виды:*

59.  $\text{CO}_2$

**Семейство 27:** Пары металлических жил

*Виды:*

60.  $\text{CO}_2$

61.  $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{S}$

62.  $\text{CO}_2 - \text{CH}_4$

364.

*Подцарство XII:*

**Глубинные пары, связанные с магматической оболочкой<sup>11</sup>**

<sup>5</sup> М. б. богаты  $\text{CO}_2$ , т. е. подкласс  $\text{N}_2 - \text{CO}_2 - \text{O}_2$ .

<sup>6</sup> Помимо  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2$  содержат иногда  $\text{H}_2$ .

<sup>7</sup> Вероятно состав этих паров гораздо разнообразнее, чем приведенные здесь тела.

<sup>8</sup> Вероятно большее разнообразие.

<sup>9</sup> Указанные виды — единицы из сотен, нам неизвестных.

<sup>10</sup> Без кислорода. Всегда  $\text{N}_2$  и  $\text{CO}_2$ ?

<sup>11</sup> Эти указания — ничтожная часть известных нам тел.

**Семейство 28: Пары магматических очагов<sup>1</sup>**

*Виды:*

- 63. Богатые F
- 64. Богатые Cl
- 65. CO<sub>2</sub>

**Семейство 29: Пары пегматитовых образований<sup>2</sup>**

*Виды:*

- 66. CO<sub>2</sub> — B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — F<sup>3</sup>
- 67. CO<sub>2</sub> — F<sup>3</sup>

365.

**Класс VI: Пары—рассолы**

*Царство десятое:*

**Подземные пары**

**ТРЕТЬЯ ПОДГРУППА: ЖИДКАЯ ПРИРОДНАЯ ВОДА**

**Класс VII: Пресные воды**

366.

*Царство двенадцатое:*

**Поверхностные воды**

*Подцарство XV:*

**Воды высокой атмосферы (стратосферы)<sup>8</sup>**

- 69. Серебристые облака<sup>2</sup>

366.

*Подцарство XVI:*

**Воды тропосферы<sup>9</sup>**

*1-й ряд: Кислород содержащие воды*

<sup>1</sup> Виды—немногие из многих.

<sup>2</sup> Вероятно господствующие в глубоких областях земной коры.

<sup>3</sup> Гейзерные известны — должны быть и представители семейства вулканических паров.

<sup>4</sup> Углекислые констатированы. Это неверное известные представители из числа многих еще неизвестных.

<sup>5</sup> Виды сейчас выделены быть не могут.

<sup>6</sup> Семейства и виды сейчас выделены быть не могут.

<sup>7</sup> Подцарства, семейства и виды сейчас выделены быть не могут.

<sup>8</sup> В теплой части высокой атмосферы — вероятно в связи с озоном — начинается яскриваться перед нами новый тип вод: разреженных туч неизвестного нам характера. Может быть это воды, связанные с озоновым экраном (озонированные?). Подклассы неясны. Может быть высокие „сербристые“ облака частью сюда относятся.

<sup>9</sup> Для этих вод в большинстве случаев нам известны подклассы. Я, однако, их не ввожу в классификацию, а указываю в примечаниях. Однако ряды в виду их значения сохраняю в классификации.

*Подцарство XIII:*

**Пары биосферы<sup>3</sup>**

**Семейство 30: Гейзерные пары<sup>4</sup>**

*Виды:*

- 68. CO<sub>2</sub>

**Семейство 31: Вулканические пары<sup>5</sup>**

*Подцарство XIV:*

**Воды метаморфических областей<sup>6</sup>**

*Царство одиннадцатое:*

**Глубинные водные пары<sup>7</sup>**

**Семейство 32: Воды туч<sup>10</sup>**

*Виды:*

- 70. Тучи и облака<sup>11</sup>
- 71. Туманы<sup>11</sup>
- 72. Дождевые воды: Cl—Na—O—N<sup>12</sup>
- 73a. . . . Cl—Na
- 73. Углекислые дожди и туманы<sup>12</sup>

**Семейство 33: Росяные воды<sup>13</sup>**

*Виды:*

- 74. Обычные росы<sup>14</sup>
- 75. Кислые росы<sup>15</sup>

368.

*Подцарство XVII:*

**Наземные воды<sup>16</sup>**

**Семейство 34: Временные водоемы — продукты туч**

*Виды:*

- 76. Лужи<sup>16</sup>
- 77. Временные пресные лужи на морях и океанах<sup>18</sup>

Первый, содержащий кислород, ряд вод характеризует биосферу (огромное большинство вздожных вод). Новидному это одно из самых мощных созданий жизни.

<sup>10</sup> Воды в подавляющем большинстве случаев подкласса N<sub>2</sub> — O<sub>2</sub>.

<sup>11</sup> Подкласс N<sub>2</sub> — O<sub>2</sub>.

<sup>12</sup> Подкласс N<sub>2</sub> — CO<sub>2</sub> — O<sub>2</sub>. Может быть два разных вида—углекислые дожди и углекислые туманы.

<sup>13</sup> Росяные воды можно с равным правом отнести в подцарство XVII.

<sup>14</sup> Подкласс N<sub>2</sub> — CO<sub>2</sub> — O<sub>2</sub>.

<sup>15</sup> Подкласс N<sub>2</sub> — CO<sub>2</sub> — O<sub>2</sub>. Может быть органическая свободная кислота или HNO<sub>3</sub>.

<sup>16</sup> Нигде, здесь и дальше, я не отделяю капиллярные поверхностные пленки, покрывающие все водоемы.

<sup>17</sup> Подкласс N<sub>2</sub> — O<sub>2</sub>

<sup>18</sup> Подкласс N<sub>2</sub> — O<sub>2</sub> — CO<sub>2</sub>

78. Пруды и лунки на приполярных и глетчерных льдах и айсбергах<sup>1</sup>  
 79. Силевые воды<sup>2</sup> —  $\text{Na} - \text{Cl}$ <sup>3</sup>  
 80. Талый снег и лед (лужи)

**Семейство 35: Малоподвижные стоячие воды, продукты туч и грунтовых вод**

*Виды:*

81. Топи  
 82. Выходы родников — колодцы —  $(\text{O} - \text{Ca} - \text{Cl} - \text{S} - \text{C} - \text{Na})$ <sup>3</sup>  
 83. Некоторые мелкие горные озера<sup>4</sup>

**Семейство 36: Текущие воды, связанные с тучами, выветриванием и верховодками**

*Виды:*

84. Мелкие горные реки<sup>2</sup>  
 85. Карбонатные кальциевые ручьи и родники —  $\text{Ca} - \text{C} - \text{O}$ <sup>1,2</sup>  
 86. Карбонатные кальциевомагниевого ручьи и родники —  $\text{O} - \text{Ca} - \text{Mg} - \text{C}$ <sup>1,2</sup>  
 87. Сульфатные железистые ручьи и родники —  $\text{O} - \text{Si} - \text{Fe} - \text{S}$ <sup>1</sup>  
 88. Химически чистые родники —  $\text{H}_2\text{O}$ <sup>1</sup>  
 89. Кремневые родники —  $\text{O} - \text{Si}$ <sup>1,2</sup>  
 90.  $\text{Ca} - \text{S} - \text{O}$  — родники<sup>4</sup>  
 91.  $\text{Fe} - \text{S} - \text{O} - \text{Si}$  — родники<sup>5</sup>

**Семейство 37: Стоячие воды, связанные с поверхностным рельефом и выветриванием**

*Виды:*

92. Озера (горные, глетчерные и т. д.)<sup>6</sup>  
 93. Озера и ямы — карбонатные воды —  $\text{Ca} - \text{C} - \text{O}$ <sup>6</sup>  
 94. Озера и ямы — карбонатные воды —  $\text{Ca} - \text{Mg} - \text{C} - \text{O}$ <sup>6</sup>

**Семейство 38: Реки**

*Виды:*

95.  $\text{O} - \text{Ca} - \text{C}$ <sup>6</sup>  
 96.  $\text{O} - \text{Na} - \text{Ca} - \text{S}$ <sup>6</sup>  
 97. Обычные реки, смеси № 95 и № 96<sup>6</sup>  
 98. Воды приполярных (тундровых) рек —  $\text{O} - \text{Ca} - \text{C}$ <sup>6</sup>  
 99. Чернобурые тропические реки —  $\text{O} - \text{C} - \text{N} - \text{Ca} - \text{Si} - \text{Na}$ <sup>6</sup>  
 100. Бор содержащие реки —  $\text{O} - \text{Na} - \text{C} - \text{B}$ <sup>8</sup>

<sup>1</sup> Подкласс —  $\text{N}_2 - \text{O}_2 - \text{CO}_2$ .

<sup>2</sup> Подкласс  $\text{N}_2 - \text{O}_2$ .

<sup>3</sup> Должно быть  $\text{N}_2 - \text{O}_2 - \text{CO}_2$ . Надо думать, что есть Na и Ca разности.

<sup>4</sup> Подкласс  $\text{N}_2 - \text{O}_2 - \text{H}_2\text{S}$  и, должно быть  $\text{N}_2 - \text{O}_2 - \text{CO}_2 - \text{H}_2\text{S}$ .

<sup>5</sup> Подкласс  $\text{N}_2 - \text{O}_2 - \text{H}_2\text{S}$  — переходные к  $\text{N}_2 - \text{O}_2 - \text{CO}_2 - \text{H}_2\text{S}$ .

<sup>6</sup> Подкласс  $\text{N}_2 - \text{CO}_2 - \text{O}_2$ .

**Семейство 39: Придонные воды рек<sup>7</sup>**

*Виды:*

101. Придонные воды больших рек<sup>8</sup>

**Семейство 40: Ирригационные искусственные воды<sup>9</sup>**

*Виды:*

102. Арыки полунустынных областей<sup>10</sup>  
 103. Каналы влажных областей

**Семейство 41: Реки, измененные городской и заводской культурой<sup>11</sup>**

**Семейство 42: Коллоидальные речные воды**

*Виды:*

104. Молочные реки (серные) —  $\text{CaSO}_4$ <sup>12</sup>  
 105. Молочные реки (серные) — обычные речные воды —  $\text{H}_2\text{S}$   
 106. Речная пена

**Семейство 43: Озера<sup>13</sup>**

*Виды:*

107.  $\text{O} - \text{Ca} - \text{C}$ <sup>14</sup>  
 108.  $\text{O} - \text{Ca} - \text{S} - \text{C}$  (Альпийский гип)<sup>15</sup>  
 109.  $\text{Na} - \text{Cl}$   
 110.  $\text{Na} - \text{Cl} - \text{O} - \text{C}$ <sup>15</sup>  
 111.  $\text{O} - \text{Mg} - \text{C}$ <sup>15</sup>  
 112.  $\text{O} - \text{Mg} - \text{Na} - \text{S} - \text{C}$ ?<sup>15</sup>  
 113.  $\text{O} - \text{Na} - \text{Ca} - \text{Cl} - \text{S}$  (вулк. местности)<sup>15</sup>  
 114. Приполярные озера (бурые) —  $\text{C} - \text{O} - \text{Na} - \text{Si}$ <sup>15</sup>

<sup>7</sup> Подкласс  $\text{N}_2 - \text{CO}_2 - \text{O}_2$  — переходящий иногда в  $\text{N}_2 - \text{CO}_2 - \text{O}_2 - \text{CH}_4$ , реже в  $\text{N}_2 - \text{CO}_2 - \text{O}_2 - \text{H}_2\text{S}$ .

<sup>8</sup> Вероятно распадется на ряд видов — в зависимости от характера азота и органических веществ. Должен быть подкласс  $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{O}_2$ , реже  $\text{CO}_2 - \text{N}_2$ ; кислород временами сходит на нет.

<sup>9</sup> Газовый режим не изучен.

<sup>10</sup> Подкласс —  $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{O}_2$ . Характер органических соединений не изучен.

<sup>11</sup> Огромное количество культурных вод, научно мало изученных, не принято мною во внимание. Их значение очень велико в изменении биосферы и менялось в культурной истории человечества. Я оставляю эти виды здесь без рассмотрения.

<sup>12</sup> Хотя анализ нет — но ясно, что такие реки должны принадлежать к подклассу  $\text{N}_2 - \text{O}_2 - \text{CO}_2 - \text{H}_2\text{S}$ , может быть даже к  $\text{N}_2 - \text{O}_2 - \text{H}_2\text{S}$ ?

<sup>13</sup> Капиллярная поверхностная пленка не принята во внимание. Здесь есть несомненно разные формы ее проявления: например, обычная пленка озерной воды и жирная ее пленка от растворимых или жидких биогенных веществ.

<sup>14</sup> Подкласс  $\text{N}_2 - \text{CO}_2 - \text{O}_2$  и  $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{O}$

<sup>15</sup> Подкласс  $\text{N}_2 - \text{CO}_2 - \text{O}_2$  и  $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{O}$

115. Бурные и черные подтропические озера<sup>1</sup>  
 116. Донные озерные воды<sup>2</sup>  
 117. O—C—Na—Si (вулканич. области)

#### Семейство 44: Болотные воды<sup>3</sup>

Виды:

118. Торфяные воды<sup>4</sup>  
 119. Болотные воды топей<sup>4</sup>  
 120. Болотные воды беломошников<sup>4</sup>  
 121. Болотные воды красномошников<sup>4</sup>  
 122. Болотные воды бур мошников<sup>4</sup>  
 123. Болотные воды древесных болот<sup>4</sup>  
 124. Болотные воды железистые<sup>4</sup>  
 125. Болотные воды с свободной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub><sup>4</sup>  
 126. Болота тропических и подтропических стран<sup>4</sup>  
 127. Болотные измененные культурой воды  
 128. Придонные болотные воды<sup>5</sup>

#### Семейство 45: Коллоидальные стоячие воды

Виды:

129. Ферри (алюмосиликатовые) пруды (озера)<sup>4</sup>  
 130. Кремневые?  
 131. Серные лужи<sup>6</sup>  
 132. Серные (молочные) пруды и озера<sup>6</sup>

#### Семейство 46: Рудные стоячие воды<sup>7</sup>

Виды:

133. O—Al—Fe—S<sup>8</sup>  
 134. O—C—K—Na—Ca—Fe—Mg

#### Семейство 47: Биогенные воды

Виды:

135. Воды мелких биогенных водоемов и растений (постоянные)<sup>9</sup>  
 136. Временные органогенные воды („стоячие лужи“)

#### 2-й ряд: Бескислородные воды:

<sup>1</sup> Подкласс N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>—O<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>  
<sup>2</sup> Подклассы CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>, переходящие в N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>—CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>S. Очевидно, каждый вид озерных вод из здесь указанных дает свою донную воду, таким образом, ряд этих вод переходит во второй ряд пресных вод—вод, лишенных кислорода.

<sup>3</sup> Очевидно воды болот тропических и полтропических стран должны отличаться от указанных здесь разновидностей болот нашего умеренного пояса. Химическая картина различия этих типов болот далеко не ясна и может быть для некоторых придется соединить их в один вид воды (например, № 115—117).

<sup>4</sup> Подкласс CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>—хотя нельзя это утверждать с уверенностью.

<sup>5</sup> Газы не изучены. Вероятно подклассы N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>—CH<sub>4</sub>.

<sup>6</sup> CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>S?

#### Семейство 48: Донные воды<sup>10</sup>

Виды:

137. Донные воды болот  
 138. Донные воды озер<sup>11</sup>  
 139. Донные воды коллоидальных серных водоемов

#### Семейство 49: Культурные воды<sup>10</sup>

369.

#### Царство тринадцатое:

#### Подземные воды

#### Подцарство XVIII:

#### Воды верхних земных покровов

1-й ряд: Кислород содержащие воды

#### Семейство 50. Воды почв и подпочв

Виды:

140. Почвенные пресные растворы<sup>12</sup>

#### Семейство 51: Поверхностные подземные воды пустынь

Виды:

141. Кремневые и алюмосиликатовые<sup>13</sup>  
 142. Гипсовые<sup>13</sup>  
 143. Ca—C—O<sup>13</sup>  
 144. Железистые?<sup>13</sup>

#### Семейство 52. Подпочвенные воды

Виды:

145. Пресные подпочвенные воды<sup>14</sup>

#### Семейство 53: Воды илов и грязей

Виды:

146. Воды грязи рек<sup>15</sup>

<sup>7</sup> Вероятно очень много разнообразных. Приведены два наиболее обычные виды.

<sup>8</sup> CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>.

<sup>9</sup> Очевидно таких вод должно быть много видов в зависимости как от биогенов, так и от условий окружающей среды.

<sup>10</sup> Сборные виды. Не разделены, а даны только общие типы.

<sup>11</sup> Есть подклассы: N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>—CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>S.

<sup>12</sup> Почвенные растворы большей частью отнесены мною к соленым водам. В зависимости от влажности почвы есть все переходы от пресных к соленным. Воды разных почв (например, черн земов и подзолов) очевидно различны, но сейчас мы это установить не можем, так как для почвенных вод нет точных анализов.

<sup>13</sup> Подкласс N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>?

<sup>14</sup> Совершенно химически не изучены. Очевидно должно быть много видов; богаты коллоидами.

<sup>15</sup> Подкласс N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>—CH<sub>4</sub>.

147. Грязевые воды пресных озер<sup>1</sup>  
 148. Грязевые воды глубоких холодных озер<sup>2</sup>  
 148а. Торфяные грязевые воды  
 148б. Грязевые воды источников

2-й ряд: Бескислородные воды

**Семейство 54: Почвенные растворы**

*Виды:*

149. Почвы рисовых полей<sup>3</sup>

**Семейство 55:**

*Виды:*

150. Грязевые воды пресных озер<sup>4</sup>  
 370.

**Подцарство XIX:**

**Пластовые воды**

1-й ряд: Кислород содержащие воды

**Семейство 56: Самые верхние пластовые воды**

*Виды:*

151. Верховодки<sup>5</sup>  
 152. Верховодки—O—Na—Ca—S—C<sup>6</sup>  
 153. Железистые верховодки—в связи с железистыми болотами<sup>6</sup>  
 154. Верховодки тундровых областей

**Семейство 57: Пластовые воды биосферы (частью верховодки?)**

*Виды:*

155. Na—Cl  
 156. Na—Mg—Cl—O—S<sup>6</sup>  
 157. Ca—C—O<sup>6</sup>  
 158. Ca—Mg—C—O<sup>6</sup>  
 159. Si—O<sup>6</sup>  
 160. Ca—S—O<sup>6</sup>

2-й ряд: Бескислородные воды

**Семейство 58: Пластовые воды биосферы и стратисферы**

*Виды:*<sup>7</sup>

161. Na—Cl<sup>8</sup>  
 162. Ca—C—O<sup>9</sup>

<sup>1</sup> Подкласс N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>—CH<sub>4</sub>.

<sup>2</sup> Газовая фаза CO<sub>2</sub> отсутствует; подкласс N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>?

<sup>3</sup> Может быть соленые, —анализов нет. Подкласс N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>S.

<sup>4</sup> Подкласс N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>—HS и N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>—CH<sub>4</sub>.

<sup>5</sup> Подкласс N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>—CH<sub>4</sub>.

<sup>6</sup> CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>.

<sup>7</sup> Есть много видов этих вод, к сожалению, сейчас трудно и с небольшой точностью выделяемых. Подкласс CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>S вероятно очень обычен.

<sup>8</sup> Подклассы CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>S.

<sup>9</sup> CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>.

163. Ca—Mg—C—O<sup>7</sup>  
 164. Ca—S—O<sup>9</sup>  
 165. Na—C—O<sup>8</sup>  
 166. Na—O—Cl—Ca<sup>2</sup>  
 167. O—Na—Ca—S—(C)<sup>9</sup>  
 168. O—Cl—Na—Ca—S—(C)  
 169. Воды нефтяных месторождений<sup>8</sup>

371.

**Подцарство XX:**

**Воды подземных водоемов**

1-й ряд: Кислород содержащие воды

**Семейство 59: Воды массивных и кристаллически слоистых пород**

*Виды:*<sup>10</sup>

170. Верхние воды гранитных пород<sup>11</sup>  
 171. Верхние воды нефелиновых пород<sup>11</sup>

2-й ряд: Бескислородные воды

**Семейство 60: Воды массивных и кристаллически слоистых пород**

*Виды:*

172. Верхние воды гранитных пород—O—Ca—C<sup>11</sup>  
 173. Верхние воды гранитных пород—Cl—Ca—Na—O—S<sup>11</sup>  
 174. Верхние воды нефелиновых пород<sup>11</sup>  
 175. Воды кислых вулканических пород—O—C—Ca—(Na)<sup>11</sup>

**Семейство 61: Коррозионные воды**

*Виды:*

176. Карстовые воды<sup>12</sup>

372.

**Подцарство XXI.**

**Восходящие воды (водные жилы)**

**Семейство 62: Пресные горячие источники (Акротермы)**

*Виды:*

1-й ряд: Хлор содержащие в преобладающем комплексе

*Виды:*

177. O—Cl—Na<sup>14</sup>

<sup>10</sup> Явление не изучено. Виды сборные—вероятно их много—столько, сколько пород местностей?

<sup>11</sup> Очевидно таких вод, анализы которых очень немногочисленны, окажется много. Виды сборные—наблюдавшиеся случаи.

<sup>12</sup> Воды немногие из реально существующих.

<sup>13</sup> Большею частью соленые. Остаток больше 10<sup>-10</sup>°? Подкласс CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>?

<sup>14</sup> Подкласс CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>. Переход в соленые.

178. O—Na—Cl—Si
179. O—Na—Cl—S<sup>1</sup>
180. O—Na—Cl—C<sup>2</sup>
181. O—Cl—C—Mg
182. Fe—O—C—Cl<sup>3</sup>
183. O—Ca—Si—Na—Cl
184. O—Cl—Na—S—Ca
185. O—Na—Cl—C—Si<sup>4</sup>
186. O—C—Ca—Si—Cl
187. Cl—O—C—Na—Ca<sup>5</sup>
188. O—C—Na—C—S<sup>6</sup>
189. O—Na—Cl—Si—S
190. O—Na—Cl—Si—S—C
191. O—C—Na—Ca—Fe—Cl

2-й ряд: В преобладающем комплексе нет хлора—есть сера (ионы O<sup>7</sup>, S<sup>8</sup>, HS<sup>9</sup>, S<sub>2</sub>O<sup>10</sup>)

192. O—Fe—S<sup>7</sup>
193. O—Na—S
194. O—Ca—S<sup>8</sup>
195. O—Zn—S<sup>9</sup>
196. O—S—Ca—Fe
197. O—Cu—Zn—S
198. O—S—Ca—Na
199. O—S—Na—Ca
200. O—Ca—S—C<sup>10</sup>
201. O—Ca—Mg—S
202. O—Na—Si—C<sup>2</sup>
203. O—Na—S—C<sup>2</sup>
204. O—S—Al—Mg<sup>10</sup>
205. O—C—Na—Mg—S
206. O—Si—Na—C—S
207. O—S—Ca—Fe—S<sup>11</sup>
208. O—Na—Ca—S—C<sup>12</sup>
209. O—S—Fe—Al—Mg—(H)?

3-й ряд: В преобладающем комплексе нет Cl и S, но есть C (ионы CO<sup>13</sup>, HCO<sup>14</sup>)

210. O—Fe—C
211. O—Fe—Ca—C<sup>13</sup>
212. O—Ca—C<sup>14</sup>
213. O—C—Na—Ca—Fe
214. O—Na—Si—C<sup>13</sup>
215. O—C—Mg—Ca<sup>15</sup>
216. O—Na—C<sup>15</sup>
217. O—Ca—Na—C<sup>16</sup>
218. O—Mg—C<sup>15</sup>

<sup>1</sup> Два вида? O—Na—Cl—HS и O—Na—Cl—SO<sub>4</sub>. Переходы.

<sup>2</sup> Подкласс N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>. Есть подвид.

<sup>3</sup> Подкласс N<sub>2</sub>?

<sup>4</sup> Подкласс N<sub>2</sub>?

<sup>5</sup> Разности более богатые Ca или Na. Подкласс CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>? Кислород из воздуха?

<sup>6</sup> Подкласс N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>S и CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>.

<sup>7</sup> Есть разности, богатые Mg. Вид O—Fe—S—Mg.

<sup>8</sup> Подкласс CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>.

<sup>9</sup> Подклассы N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub> (O<sub>2</sub> из воздуха?).

<sup>10</sup> Подкласс CO<sub>2</sub>.

<sup>11</sup> Подкласс N<sub>2</sub>.

<sup>12</sup> Вадозный? Подкласс CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>.

<sup>13</sup> Должно быть N<sub>2</sub> или N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>.

<sup>14</sup> Есть подклассы: 1) CO<sub>2</sub>, 2) CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>.

3) N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub> и 4) N<sub>2</sub>.

<sup>15</sup> Подкласс CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>.

4-й ряд: В преобладающем комплексе нет ни Cl, ни S, ни C<sup>16</sup>

219. O—Ca—P<sup>17</sup>

220. O—B—Mg—(Ca)—Si<sup>17</sup>

373.

Семейство 63: Вулканические и гейзерные воды

Виды:

221. O—Na—Si—S<sup>17</sup>

222. O—Fe—Si—S<sup>17</sup>

223. O—S—N—Mg—C<sup>17</sup>

224. O—S—N—C<sup>17</sup>

225. O—S—Mg<sup>17</sup>

226. O—S—N—H<sup>17</sup>

227. O—S—N—Fe—H<sup>17</sup>

228. O—S—N<sup>18</sup>

Семейство 64: Сопочные воды (озера)

Виды:

229. Всегда содержат бор?

374.

Подцарство XXII:

Воды горных пород<sup>19</sup>

Семейство 65: Капиллярные воды пород биосферы<sup>19</sup>

Виды:

230. Воды осадочных современных пород

231. Воды органогенных современных пород

232. Воды новых вулканических пород?

Семейство 66: Жидкие включения горных пород<sup>20</sup>

Виды:

233. Пресные воды включений льда

234. Пресные воды включений осадочных пород

235. Пресные воды включений метаморфических пород

<sup>16</sup> Вероятно, есть довольно много этих вод. Соединены вместе в ряд по формальному признаку.

<sup>17</sup> Должно быть CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>.

<sup>18</sup> Область вод совершенно неизученных. Должно быть где-нибудь здесь заканчиваются пресные жидкие воды, наиболее глубоко проникающие в земную кору. Пресный характер этих вод требует проверки; очень возможно, что если окажется, что воды осадочных пород пресные—пресный характер вод выдержится и в стратиферии и глубже.

<sup>19</sup> Должен или, вернее, может содержать O<sub>2</sub>. Может быть воды подклассов N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>. Может быть значительная часть этих вод соленая.

<sup>20</sup> Очевидно здесь будет выделено много видов; приводимые виды—сборные—разобьются на ряд видов.

236. Пресные воды включений мас-  
сивных пород  
237. Пресные воды в равновесии  
с жидкой  $\text{CO}_2$

375.

## Класс VIII: Соленые воды

### Царство четырнадцатое:

#### Поверхностные воды

##### Подцарство XXIII:

##### Метеорные воды

#### Семейство 67: Соленые туманы

376.

##### Подцарство XXIV:

##### Наземные воды

##### 1-й ряд: Кислород содержащие воды

#### Семейство 68: Воды гидро- сферы<sup>2</sup>

##### Виды:

238. Океаническая вода— $\text{Cl}-\text{Na}-\text{O}-$   
— $\text{Mg}$   
239. Морская вода— $\text{Cl}-\text{Na}-\text{O}-\text{Mg}-\text{S}$   
240. Придонная океаническая вода  
241. Придонная морская вода  
242. Морская и океаническая пена<sup>3</sup>  
243. Опресненная поверхностная мор-  
ская вода  
244. Воды лиманов  
245. Морская пена (коллоидальная вода)

377.

#### Семейство 69: Поверхностные соленые воды, связанные с метеорными

##### Виды:<sup>4</sup>

246. Силевые соленые воды<sup>5</sup>  
247. Временные воды на солончаках  
и солонцах (лужи)

#### Семейство 70: Лужи на льде

##### Виды:

248. Лужи на соленом морском льде—  
— $\text{Na}-\text{Cl}$ <sup>6</sup>  
249. Лужи на соленом морском льде—  
— $\text{O}-\text{N}-\text{S}$ <sup>6</sup>

<sup>1</sup> Существование соленых туч возможно в отдельных случаях, но не доказано. Со-  
леные туманы повидимому принадлежат  
к подклассу  $\text{N}_2-\text{O}_2-\text{CO}_2$ .

<sup>2</sup> Подкласс  $\text{N}_2-\text{O}_2-\text{CO}_2$ . Иногда  $\text{N}_2-\text{O}_2$ .

<sup>3</sup> Я оставляю в стороне пленки (капил-  
лярные) на поверхности морей и океана;  
мне кажется, это особые виды вод, играю-  
щие заметную роль в биохимических про-  
цессах.

<sup>4</sup> Очевидно много видов; приведенные—  
сборные.

<sup>5</sup> Подкласс  $\text{N}_2-\text{O}_2$ ?

<sup>6</sup> Должно быть  $\text{N}_2-\text{O}$ .

#### Семейство 71: Поверхностные стоячие воды, связанные с родниковыми и метеор- ными (колодцы, пруды, лужи, топи и т. п.)

##### Виды:

##### Кальциевые воды:

250.  $\text{O}-\text{Ca}-\text{S}-(\text{C})-\text{Cl}$ <sup>7</sup>  
251.  $\text{Cl}-\text{O}-\text{Ca}-\text{Mg}-\text{C}-(\text{Na})$ <sup>7</sup>  
252.  $\text{O}-\text{S}-\text{Ca}-\text{Mg}-(\text{Cl})$ <sup>7</sup>  
253.  $\text{O}-\text{S}-\text{Ca}-(\text{C})$ <sup>7</sup>  
254.  $\text{O}-\text{Ca}-\text{C}-\text{S}$  бурые<sup>7</sup>

##### Натровые воды:

255.  $\text{Na}-\text{Cl}$ <sup>7</sup>  
256.  $\text{O}-\text{Na}-\text{Cl}-\text{S}$ <sup>7</sup>  
257.  $\text{O}-\text{Na}-\text{Cl}-\text{C}$ <sup>7</sup>  
258.  $\text{O}-\text{Na}-\text{Cl}-\text{C}-\text{S}$ <sup>7</sup>  
259.  $\text{O}-\text{Mg}-(\text{Ca})-\text{Na}-\text{S}$ <sup>7</sup>  
260.  $\text{O}-\text{Na}-\text{Ca}-\text{Cl}-\text{S}$ <sup>7</sup>

#### Семейство 72: Поверхностные коллоидальные воды

##### Виды:

261. Серные (молочные) пруды и лужи

378.

#### Семейство 73: Соленые и со- лоноватые реки

##### Виды:

262. Солоноватые, более белые солю—  
— $\text{NaCl}$ —реки<sup>9</sup>  
263. Соленые реки  $\text{Na}-\text{Cl}$ <sup>10</sup>  
264. Борсодержащие реки<sup>9</sup>

#### Семейство 74: Культурные ирригационные каналы<sup>11</sup>

##### Виды:

265. Арыки (пашатырные воды)  
 $\text{Cl}-\text{Na}-\text{O}-\text{Ca}-\text{H}$ <sup>3</sup>

#### Семейство 75: Коллоидальные подвижные воды

##### Виды:

266. Пена соленых рек

#### Семейство 76: Озера<sup>12</sup>

##### Виды:

Для каждого озера надо различать -- не  
говоря о подземной воде его дна (ило-  
вой)—два вида или вид и подвиж воды:  
озерную воду собственно и воду придон-  
ную. Последняя переходит иногда в бескисло-  
родный ряд соленых вод.

<sup>7</sup> Должно быть  $\text{N}_2-\text{O}_2-\text{CO}_2$ .

<sup>8</sup> Должно быть  $\text{N}_2-\text{O}_2$ .

<sup>9</sup> Должно быть  $\text{N}_2-\text{O}_2-\text{CO}_2$ .

<sup>10</sup> Есть переходы в рассолы.

<sup>11</sup> Надо думать, что есть и  $\text{Na}-\text{Cl}$   
воды.

<sup>12</sup> Капиллярные поверхностные пленки  
не включены. Это особые, отличные от  
пресных озер, виды природной воды.



267.  $\text{Na}-\text{Cl}^1$   
 268.  $\text{Na}-\text{Cl}-\text{C}-\text{O}^1$  — Содовые озера  
 269.  $\text{Na}-\text{O}-\text{Cl}-\text{S}^1$   
 269а.  $\text{Cl}-\text{O}-\text{Na}-\text{S}-\text{Mg}?$   
 Есть переходы между этими видами вод  
 270.  $\text{O}-\text{K}-\text{Na}-\text{S}-\text{C}^1$  — Поташные озера  
 271.  $\text{O}-\text{Na}-\text{Cl}-\text{C}^1$  — Содовые озера  
 272.  $\text{O}-\text{Na}-\text{Cl}-\text{K}-\text{C}^1$  — Поташные озера  
 273.  $\text{Na}-\text{O}-\text{S}^1$   
 274.  $\text{Ca}-\text{O}-\text{S}^1$   
 275.  $\text{Na}-\text{O}-\text{S}-\text{C}^1$   
 276.  $\text{O}-\text{N}-\text{S}-\text{Mg}^1$   
 277.  $\text{Na}-\text{Ca}-\text{O}-\text{S}^1$   
 278.  $\text{Na}-\text{O}-\text{Cl}-\text{B}-\text{N}^1$  — Борные озера  
 279.  $\text{Ca}-\text{S}-\text{O}-\text{C}^1$   
 280.  $\text{Na}-\text{Cl}-\text{O}-\text{S}-\text{C}^2$   
 281. Соленая озерная пена (коллоидальная)<sup>3</sup>

### Семейство 77: Подземные соленые озера

Виды:

282.  $\text{O}-\text{S}-\text{Cl}-\text{Ca}-\text{Na}$

### Семейство 78: Азотнокислые воды

Виды:

283.  $\text{O}-\text{Ca}-\text{S}-\text{N}^4$   
 284.  $\text{O}-\text{Cl}-\text{Na}-\text{Ca}-\text{N}-\text{C}^4$

### Семейство 79: Соленые болота

Виды:

285. Воды океанических мангровых болот<sup>5</sup>  
 286. Соленые ( $\text{NaCl}$ ) болота суши

379.

### Семейство 80: Органогенные воды<sup>6</sup>

Виды:

287. Лесные (дупла)  $\text{O}-\text{C}-\text{N}-\text{H}-\text{Na}^2$

### Семейство 81.

Виды:

Воды металлического выветривания (иногда культурные)<sup>6</sup>

288.  $\text{O}-\text{S}-\text{Mo}-\text{Fe}^7$

<sup>1</sup>  $\text{N}-\text{CO}_2-\text{O}_2$ .

<sup>2</sup> Должно быть  $\text{CO}_2-\text{N}_2-\text{O}_2-\text{H}_2\text{S}$ .

<sup>3</sup> Очевидно сборный вид: состав пены отвечает составу озерной воды.

<sup>4</sup> Должно быть  $\text{CO}_2-\text{N}_2-\text{O}_2$ .

<sup>5</sup> К сожалению не изучены. Подкласс бедный кислородом?

<sup>6</sup> Вероятно, много классов вод, не собирающихся в значительные водовместилища и потому не исследуемых и не анализируемых.

<sup>7</sup> Вероятно много видов. Они не собираются в заметные водовместилища, и оттого

### Семейство 82: Культурные воды

Виды:

Рудные воды:

289.  $\text{Fe}-\text{H}-\text{SO}_4^8$   
 290.  $\text{Zn}-\text{SO}_4^8$   
 291.  $\text{Cu}-\text{SO}_4^8$   
 292.  $\text{Ni}-\text{S}-\text{O}^8$   
 293.  $\text{O}-\text{Cu}-\text{Zn}-\text{S}$   
 293а.  $\text{O}-\text{Fe}-\text{S}-\text{P}-\text{H}$

Каменноугольные воды:

294.  $\text{O}-\text{S}-\text{Fe}-\text{Mg}-\text{Ca}^9$

### 2-й ряд: Бескислородные воды

Представляют постоянно повторяющееся явление, большей частью небольшие участки наземных водоемов, иногда без ясных контуров.

### Семейство 83: Воды гидросферы

Виды:

295. Придонные океанические воды<sup>10</sup>  
 296. Придонные морские воды<sup>10</sup>

### Семейство 84: Соленые озера Придонные воды<sup>11</sup>

Виды:

297. Карбонатные озера<sup>12</sup>  
 298. Сульфатные озера<sup>12</sup>  
 299. Хлористые озера<sup>12</sup>

### Семейство 85: Культурные воды, бедные коллоидами

Виды:

300. Ирригационные воды

### Семейство 86: Культурные воды, богатые коллоидами

301. Воды, богатые сернистыми соединениями<sup>12</sup>  
 302. Воды мыльные (эмульсии)<sup>13</sup>

исчезают из научного кругозора. Требуют изучения в виду их значения в процессах генезиса минералов.

<sup>8</sup> Должно быть  $\text{N}_2-\text{O}_2$ .

<sup>9</sup> Подкласс неясен:  $\text{CO}_2-\text{N}_2-\text{O}_2-\text{CH}_4?$

<sup>10</sup>  $\text{N}_2-\text{CO}$ . Иногда  $\text{N}_2-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{S}$  (например, Черное море).

<sup>11</sup> Очевидно может быть столько же классов этих вод, сколько есть классов солевой озерной воды. К сожалению, сейчас нельзя точно выяснить, какие из них в действительности наблюдались. Поэтому я привожу здесь немногие из несомненно установленных классов.

<sup>12</sup> Должно быть  $\text{N}_2-\text{CO}_2-\text{O}_2$ , может быть очень богатые  $\text{CO}_2$ .

<sup>13</sup> Анализ газов нет. Может быть, содержит достаточно растворенного кислорода.

380.

## Царство пятнадцатое:

### Подземные воды

#### Подцарство XXV:

#### Воды верхних земных покровов

1-й ряд: Кислород содержащие воды

#### Семейство 87: Почвенные растворы

Виды:

- 303. Соленые почвенные воды<sup>1</sup>
- 304. Почвенные растворы солонцов:  
 $\text{Na—S—O}^3$
- 305. Почвенные растворы солонцов:  
 $\text{Na—Mg—S—O}^3$
- 306. Почвенные растворы солонцов:  
 $\text{Ca—C—O—S}^3$
- 307. Почвенные растворы солонцов:  
 $\text{Na—Cl}^3$

381.

2-й ряд: Бескислородные воды

#### Семейство 88: Гидросферные иловые воды<sup>3</sup>

Виды:<sup>4</sup>

- 308. Океанические воды<sup>5</sup>
- 309. Морские воды<sup>5</sup>
- 310. Лиманные иловые воды<sup>5</sup>

#### Семейство 89: Озерные грязевые воды<sup>6</sup>

Виды:

- 311. Хлористые озера<sup>7</sup>
- 312. Сульфатные озера<sup>7</sup>
- 313. Карбонатные озера<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Обычные почвенные растворы являются солеными. Они разные в разных почвах. Богаты  $\text{NO}_3$ , Ca,  $\text{CO}_3$ , органич. веществами. К сожалению, сейчас нельзя дать их более точную характеристику. Должно быть сюда относятся многие десятилетия в. Они дают по крайней мере два ряда—обычных (более бедных Cl и S) и солонцовых почвенных растворов, богатых ионами Cl,  $\text{SO}_4$  и  $\text{CO}_3$ .

<sup>2</sup> Должно быть  $\text{N}_2\text{—CO}_2\text{—O}_2$ , может быть очень богатые  $\text{CO}_2$ .

<sup>3</sup> Повидимому иловые воды разных океанических и морских седлов (красного глубоководного ила, глауконитового, диатомового и т. п.) должны быть различны. К сожалению, анализ нет. Это целое, может быть отдельное семейство природных вод, аналогичное может быть почвенным водам. Кислород есть только в тонком верхнем слое.

<sup>4</sup> Из многих видов можно пока выделить три сборных.

<sup>5</sup> Подклассы  $\text{CO}_2\text{—N}_2$  и  $\text{CO}_2\text{—N}_2\text{—H}_2\text{S}$ .

<sup>6</sup> Есть несомненно несколько видов в озерных иловых вод. Их может быть столько же, сколько может быть видов соленых озерных вод. По недостатку точных данных это разделение здесь упрощено.

<sup>7</sup> Подклассы  $\text{CO}_2\text{—N}_2$  и  $\text{CO}_2\text{—N}_2\text{—H}_2\text{S}$ .

#### Семейство 90: Иловые воды суши (источники и т. д.)<sup>8</sup>

Виды:<sup>9</sup>

- 314.  $\text{O—S—Na—Mg}$

382.

#### Подцарство XXVI:

#### Пластовые воды биосферы

1-й ряд: Кислород содержащие воды

#### Семейство 91: Верховодки и верхние горизонты пластовых вод

Виды:

- 315. Верхние грунтовые воды— $\text{Na—Cl—SO}_4^{10}$
- 316. Верхние грунтовые воды— $\text{Cl—Na—O—Ca—Mg—S}$
- 317. Верхние грунтовые воды— $\text{Ca—C—O}^{10}$
- 318. Верхние грунтовые воды богатые  $\text{SiO}_4^{10}$
- 319. Верхние грунтовые гипсовые воды  $\text{O—Cl—S}^{11}$
- 320. Верхние грунтовые и напорные воды— $\text{O—Ca—S—C}^{10}$
- 321. Верхние грунтовые и напорные воды— $\text{O—Ca—S—C—Cl}^{10}$

2-й ряд: Бескислородные воды<sup>12</sup>

#### Семейство 92: Пластовые, частью напорные, воды<sup>13</sup>

Виды:<sup>14</sup>

- 322.  $\text{Cl—O—Na—Ca—S—C}^{15}$

#### Подцарство XXVII:

#### Воды подземных вместилищ

#### Семейство 93: Подземные воды от растворения соляных масс

Виды:

- 323.  $\text{Na—Cl}^{15}$

#### Семейство 94: Воды заполнения подземных сторонних трещин<sup>16</sup>

<sup>8</sup> Может быть распадется на ряд семейств.

<sup>9</sup> Очевидно много видов.

<sup>10</sup>  $\text{N}_2\text{—CO}_2\text{—O}_2$ , должно быть.

<sup>11</sup>  $\text{CO}_2\text{—N}_2\text{—O}_2$ —плавид.

<sup>12</sup> При современном состоянии знаний не могут быть разделены. Очевидно много видов.

<sup>13</sup> Являются переходными и иногда принадлежат к подклассу  $\text{N}_2\text{—CO}_2\text{—O}_2$ .

<sup>14</sup> Их много. Приведем один сборный вид, который распадется на несколько видов. Отвечает средним данным.

<sup>15</sup>  $\text{CO}_2\text{—N}_2$ .

<sup>16</sup> Очевидно много видов, которые сейчас нельзя выделить. Мало изучены. В массивных и кристаллически-слоистых породах.

*Подцарство XXVIII:*

**Пластовые воды стратисферы**

**Семейство 95: Пластовые воды<sup>1</sup>**

*Виды:*

- 324. Na—Cl<sup>2</sup>
- 325. Na—Cl—O—S<sup>3</sup>
- 326. Na—Cl—O—C<sup>2</sup>
- 327. Na—O—S<sup>2</sup>
- 328. Na—O—C<sup>3</sup>
- 329. Na—Ca—Cl<sup>3</sup>
- 330. Na—Cl—H—S<sup>2</sup>
- 331. Na—Ca—O—Cl—S—C<sup>3</sup>

**Семейство 96: Радионосные пластовые нефтяные воды<sup>3</sup>**

*Виды:*

- 332. Cl—Na<sup>4</sup>
- 333. O—Na—C<sup>4</sup>
- 334. Na—Cl—O—C<sup>4</sup>
- 335. N—O—Cl—Ca—(S)—(H)<sup>5</sup>

**Семейство 97: Метаморфизованные пластовые воды стратисферы<sup>6</sup>**

*Виды:*

- 336. N<sub>2</sub>—Cl<sup>7</sup>
- 337. Na—Cl—CO<sub>2</sub><sup>8</sup>

383.

*Подцарство XXIX:*

**Восходящие воды (водные жилы)**

**Семейство 98: Минеральные источники<sup>8</sup>**

**1-й ряд: Закрывающий хлор в главном комплексе**

<sup>1</sup> Пластовые воды, как указано в тексте, не всегда могут быть отделены от водных жил; точно так же и газовый их режим неясен.

<sup>2</sup> Подкласс N<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>.

<sup>3</sup> Воды только что начинают выясняться; их газовый режим вероятно очень оригинален: N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>—CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>—тяжелые углеводороды. Характерны иногда нафеновые кислоты.

<sup>4</sup> CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—углеводороды?

<sup>5</sup> N<sub>2</sub>?

<sup>6</sup> Генезис и характер этих вод смешивался с нефтяными. Это вновь растворенные метаморфизованные иловые (иногда донные) воды древних морей. Должно быть, подклассы N<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>. История их не изучена.

<sup>7</sup> Часто нельзя отделить от обычных пластовых вод и от водных жил, их смешивают и с нефтяными водами.

<sup>8</sup> Водные жилы—минеральные источники—часто являются естественными выходами напорных вод. Объединять их все с напорными водами однако нельзя. В приведенных анализах нельзя всегда их разделить.

- 338. Na—Cl<sup>9</sup>
- 339. Cl—Ca?
- 340. Cl—Na—Ca<sup>10</sup>
- 341. Cl—Na—Mg?
- 342. O—Cl—Na—S<sup>11</sup>
- 343. O—Cl—Na—C<sup>12</sup>
- 344. Cl—Na—O—Fe?
- 345. Cl—Na—O—Fe—(S)
- 346. O—Cl—Na—S—Mg<sup>13</sup>
- 347. O—Cl—Na—C—Ca<sup>14</sup>
- 348. Cl—Na—O—C—S
- 349. O—S—Ca—Na—Cl?
- 350. O—C—Na—Cl—(B)
- 351. Cl—O—S—Fe—Al—(H)
- 352. Cl—O—Na—Ca—S—C<sup>15</sup>
- 353. Na—O—Cl—S—C—Si?
- 354. O—Cl—C—Na—Ca—Mg
- 355. Na—C—O—Cl—S—(B)
- 356. Cl—O—Na—Ca—S—C—Mg?

2-й ряд: Не заключающий хлора, но заключающий серу в господствующем комплексе

- 357. O—Na—S<sup>16</sup>
- 358. O—S—Ca<sup>17</sup>
- 359. O—S—Al?
- 360. O—S—Fe<sup>18</sup>
- 360A. O—S—Mg.
- 361. O—S—Na—Mg<sup>19</sup>
- 362. O—Ca—S—Mg<sup>20</sup>
- 363. O—S—N—H<sup>21</sup>

<sup>9</sup> Есть подклассы. 1. CO<sub>2</sub>. 2. CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>S. 3. N<sub>2</sub>. 4. Странная вода (Rilchingen)—O<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>? Переходы в рассолы и пресные воды, NaCl в Na—Ca—Cl. Есть разности, богатые Mg.

<sup>10</sup> Есть подклассы: 1. CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>. 2. CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>S? Переходы в рассолы, в Na—Cl. Есть разности, богатые Ca.

<sup>11</sup> Есть переход в Na—O—S и Na—Cl. Связаны с гейзерными водами иногда (окисление H<sub>2</sub>S и иона HS). Может быть, сюда относится вода Rilchingen (прим. 9). Есть подкласс: CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>? Надо различать воды с SO<sub>4</sub> и с H<sub>2</sub>S—с преобладанием того или другого иона. Могут быть генетические переходы.

<sup>12</sup> Есть разности, богатые кальцием и серой. Есть подклассы: 1. CO<sub>2</sub>. 2. CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>. 3. N<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>—CH<sub>4</sub>. 4. CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>S.

<sup>13</sup> Есть подкласс CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>.

<sup>14</sup> Есть подкласс CO<sub>2</sub>. Есть разности SO<sub>4</sub> и HS.

<sup>15</sup> Есть подклассы: 1. CO<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>S. 2. CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>S.

<sup>16</sup> Есть переходы в Na—Cl, O—Ca—S, O—S—Na—Mg, O—Na—C—S. Подкласс N<sub>2</sub>?

<sup>17</sup> Есть переходы в Na—O—S, O—Ca—S—Mg. Есть подкласс CO<sub>2</sub>.

<sup>18</sup> Есть переходы в O—S—Al? Должно быть N<sub>2</sub>.

<sup>19</sup> Есть подвиды—богатые Na и богатые Mg. Переходы в O—Na—S, O—Na—C—S. Подкласс N<sub>2</sub>?

<sup>20</sup> Есть переходы в рассолы O—Ca—S—Mg, соленые источники O—Ca—S, O—Na—S. Подкласс CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>?. Есть подкласс с H<sub>2</sub>S.

<sup>21</sup> Есть переходы в рассолы O—S—N—H, в соленые O—S—N—B—H. Подкласс N<sub>2</sub>?

364.  $O-S-(Al)-(H)$   
 365.  $O-Na-C-(S)^1$   
 366.  $O-C-Ca-S^2$   
 367.  $O-Ca-S-N$   
 368.  $O-S-N-B-H^3$   
 369.  $O-Na-Ca-C-S^4$   
 370.  $O-H-Ca-Fe-S$   
 371.  $O-S-Na-Ca-Al$   
 372.  $O-C-S-Mg-Ca$   
 373.  $O-S-Mg-Na-Ca-Fe$   
 374.  $O-C-S-Mg-Ca-Na?$

3-й ряд: Источники без Cl и S в основном ядре, но заключающие в нем C

375.  $Na-C-O^5$   
 376.  $Na-Ca-C-O^6$   
 377.  $Ca-C-O^7$  (есть разности богатые железом)  
 378.  $Ca-Mg-C-O^8$  (есть разности, богатые натрием)  
 379.  $Mg-C-O$  (есть разности, богатые натрием)  
 380.  $O-C-Na-Mg?$   
 381.  $O-C-Ca-Fe?$   
 382.  $O-C-Ca-Mg-Na?$

4-й ряд: Не содержащий в основном ядре ни Cl, ни S, ни C

383.  $Na-B-O$ .

384.

### Семейство 99: Гейзерные воды

Виды:

381.  $O-S-(H)$   
 385.  $Ca-C-O?$   
 386.  $Na-C-O?$   
 387.  $Ca-S-C-O?$   
 388.  $O-Na-Si-Cl$   
 389.  $Cl-Na-O-S$   
 390.  $O-S-N-H$   
 391.  $S-N-O-H-Si$   
 392.  $Cl-O-Na-Si-S$   
 393.  $O-S-N-Mg-H$

<sup>1</sup> Есть переходы в  $O-Na-S$ , рассолы  $O-C-Na-Ca-S$ . Есть подкласс  $CO_2$ , может быть  $CO_2-N_2$ . Есть разности, богатые хлором.

<sup>2</sup> Есть подкласс  $CO_2$ .

<sup>3</sup> Есть переходы в  $O-S-N-H$ .

<sup>4</sup> Есть переходы в  $O-C-Na-S$ ,  $O-Na-C$ ,  $O-Ca-Mg-C$ , в рассолы  $O-Na-Ca-C-S$ . Есть подкласс  $CO_2$ .

<sup>5</sup> Может быть,  $CO_2-N-CH_4$ . Есть переходы в пресные и рассольные источники, также в соленые  $Na-Ca-C-O-S$ . Есть разности, богатые магнием. Есть подклассы  $CO_2-N_2$ ,  $CO_2$ . Есть подклассы с  $H_2S$ .

<sup>6</sup> Есть переходы в пресные. Есть разности, богатые Mg. Должно выделить два подвида:  $O-C-Na-Ca$  и  $O-C-Ca-Na$ . Есть подклассы  $CO_2$  и  $CO_2-N_2$ .

<sup>7</sup> Есть переходы в пресные. Есть подвиды, богатые железом. Есть подкласс:  $CO_2$ .

<sup>8</sup> Есть подклассы: 1)  $CO_2-N_2$  и 2)  $CO_2$ . Есть Mg-разность.

394.  $O-S-N-H-Mg-C$   
 395.  $O-Si-S-N$

### Семейство 100: Гейзерные озера<sup>9</sup>

Виды:

396.  $Ca-Na-O$

### Семейство 101: Вулканические воды<sup>10</sup>

Виды:

397.  $Al-O-S-Fe-Si$   
 398.  $Cl-O-S-Al-(H)$   
 399.  $O-Cl-S-(H)$

### Вулканические соленые воды

400.  $Cl-O-S-Fe-Al$   
 401.  $Cl-Na$

### Семейство 102: Сопочные воды<sup>11</sup>

Виды:

402.  $O-Na-Cl-B-C$

385.

### Подцарство XXX:

### Соленые воды горных пород и минералов

### Семейство 103: Волосные воды горных пород и минералов<sup>12</sup>

Виды:

403. Воды пород и минералов стратиферы  
 404. Воды метаморфических пород и минералов  
 405. Воды массивных пород и их минералов

### Семейство 104. Воды включений пород и минералов<sup>13</sup>

Виды:

406.  $Na-Cl$   
 407.  $K-Cl?$   
 408.  $Na-SO_4-H?$   
 409.  $Na-Cl-SO_4-H?$   
 410.  $Na-SO_4-CO_2?$

<sup>9</sup> Есть несколько видов.

<sup>10</sup> Есть много видов—связаны с фумарольными процессами и с изменением твердых пород.

<sup>11</sup> Есть несколько видов?

<sup>12</sup> Совершенно не изучены. Должны быть подклассы  $N_2$  и  $CO_2$ ,  $CO_2-N_2$ . Дальнейшее исследование должно выделить много видов. Так называемая „горная влажность“ связана с полосными водами. Химический состав ее не изучен.

<sup>13</sup> Не изучены. Очевидно число видов очень увеличится—десятки.

386.

*Царство шестнадцатое:*

**Глубинные воды<sup>1</sup>**

*Подцарство XXXI:*

**Воды волосные метаморфической оболочки<sup>2</sup>**

*Подцарство XXXII:*

**Воды пегматитовых жил**

387.

**Класс IX: рассолы**

*Царство семнадцатое:*

**Поверхностные воды**

*Подцарство XXXIII:*

**Метеорные воды<sup>3</sup>**

*1-й ряд: Кислород содержащие воды*

*Подцарство XXXIV:*

**Наземные воды**

*1-й ряд: Кислород содержащие воды*

**Семейство 105: Воды гидросферы — концентраты**

*Виды:*

- 411.  $\text{Cl} - \text{Na} - \text{Mg} - \text{S} - \text{O}^4$
- 412.  $\text{Cl} - \text{Mg} - \text{Na}^4$  (лиманы)
- 413.  $\text{Cl} - \text{Na}^4$
- 414. Концентраты при замерзании морской воды.  $\text{Cl} - \text{Na} - \text{Mg}$

**Семейство 106: Реки**

*Виды:*

- 415.  $\text{Cl} - \text{Na} - (\text{Mg})^4$
- 416.  $\text{Cl} - \text{Na}$

**Семейство 107: Поверхностные рассолы, связанные с соляными залежами**

*Виды:*

- 417. Рассольные ключи —  $\text{Na} - \text{Cl}^5$

<sup>1</sup> Характер глубинных солевых вод неясен. Хотя жидкая вода прекращается в метаморфической оболочке и попадает лишь в некоторых случаях (в водных жилах) в биосферу, существование, идущее на большую глубину, твердых пород в земной коре (и вероятно за ее пределами?) заставляет допускать существование в этих глубинах капиллярной — пленочной жидкой воды.

<sup>2</sup> Вероятно существует много видов и много семейств.

<sup>3</sup> Существование этих вод не доказано — но весьма вероятно в случае нахождения в атмосфере гигроскопических веществ.

<sup>4</sup> Должно быть,  $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{O}_2$ .

<sup>5</sup> Должно быть,  $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{O}_2$ .

**Семейство 108: Поверхностные рассолы, связанные с грунтовыми водами**

*Виды:*

- 418. Рассольные колодезные воды — приозерные —  $\text{Na} - \text{Cl} - \text{Mg}^6$
- 419. Рассольные колодезные воды — пустынные —  $\text{Na} - \text{Cl} - \text{O} - \text{S}^6$
- 420. Рассольные колодезные воды —  $\text{Na} - \text{Cl}^6$

**Семейство 109: Озера**

*Виды:*

- 421.  $\text{Na} - \text{Cl}^6$
- 422.  $\text{Mg} - \text{Cl}^6$
- 423.  $\text{Mg} - \text{Na} - \text{Cl}^6$
- 424.  $\text{Ca} - \text{Na} - \text{Cl}^6$
- 425.  $\text{Na} - \text{Mg} - \text{Cl}^6$
- 426.  $\text{Na} - \text{Ca} - \text{Cl}$  (соры)<sup>6</sup>
- 427.  $\text{Cl} - \text{Mg} - \text{Na} - \text{Ca}^6$
- 428.  $\text{Cl} - \text{Mg} - \text{Na} - \text{Ca} - \text{Br}^7$
- 429. Иодные нефтяные озера:  $\text{Na} - \text{Cl}^6$
- 430. Иодные нефтяные озера —  $\text{Na} - \text{Ca} - \text{Cl}^6$
- 431.  $\text{Na} - \text{Cl} - \text{O} - \text{S}^7$
- 432.  $\text{Cl} - \text{Mg} - \text{Na} - \text{O} - \text{S}^7$
- 433.  $\text{Na} - \text{O} - \text{S}^7$
- 434.  $\text{Na} - \text{O} - \text{C} - \text{Cl}^7$
- 435.  $\text{Na} - \text{O} - \text{C}^7$
- 436.  $\text{Na} - \text{K} - \text{O} - \text{C}^7$
- 437.  $\text{O} - \text{Na} - \text{S} - \text{C} - \text{Cl}^7$
- 438. Гринговые рассольные озера —  $\text{Na} - (\text{Cl})^7$
- 439. Борные озера —  $\text{O} - \text{Cl} - \text{Na} - \text{B} - \text{C}^7$

**Семейство 110: Концентраты озер**

*Виды:*

- 440.  $\text{Cl} - \text{Mg} - \text{O} - \text{Na} - \text{S}$
- 441. Концентраты лагун —  $\text{Cl} - \text{Na} - \text{O} - \text{S}$

**Семейство 111: Рассольные болота**

*Виды:*

- 442.  $\text{Na} - \text{Cl}$

**Семейство 112: Солонцовые рассолы**

*Виды:*

- 443.  $\text{Ca} - \text{Cl}$
- 444. Селиты  $\text{Ca}, \text{Na}, \text{K}$
- 445.  $\text{Mg} - \text{S} - \text{O}$
- 446.  $\text{Na} - \text{S} - \text{O}$

**Семейство 113: Органогенные рассолы**

*Виды:<sup>8</sup>*

- 447.  $\text{Cl} - \text{Na} - \text{Mg} - (\text{на листьях})$
- 448.  $\text{K} - \text{Cl}$
- 449.  $\text{Mg} - \text{Na} - \text{N} - \text{S} - \text{O} - \text{Cl}$

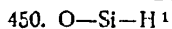
<sup>6</sup> Должно быть  $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{O}_2$ .

<sup>7</sup> Подкласс  $\text{N}_2 - \text{CO}_2 - \text{O}_2$

<sup>8</sup> Очевидно приведены немногие из многих.

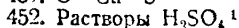
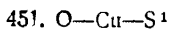
**Семейство 114: Коллоидальные рассолы**

Виды:



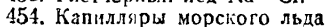
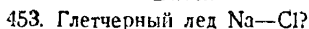
**Семейство 115: Рудные воды<sup>2</sup>**

Виды:



**Семейство 116: Волосные воды<sup>3</sup>**

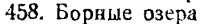
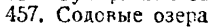
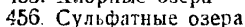
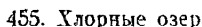
Виды:



2-й ряд: Бескислородные воды

**Семейство 117: Донные воды озер<sup>4</sup>**

Виды:



388.

**Царство восемнадцатое:**

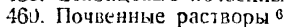
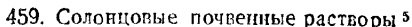
**Подземные воды**

**Подцарство XXXV:**

**Воды верхних земных покровов**

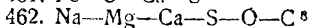
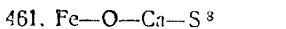
**Семейство 118: Почвенные воды**

Виды:



**Семейство 119: Иловые воды<sup>7</sup>**

Виды:



<sup>1</sup>  $N_2-CO_2-O_2$ , может быть  $N_2-O_2$ .

<sup>2</sup> Относится еще несколько видов, в том числе богатые  $ZnSO_4$  и  $FeSO_4$ .

<sup>3</sup> Оставлены без внимания капиллярные пленки на поверхности рассольных озер, заслуживающие серьезного внимания. Очевидно не меньше видов, чем сколько есть видов озер. Это—особое семейство.

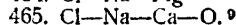
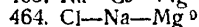
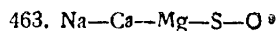
<sup>4</sup> Очевидно не меньше видов, чем видов озерной воды. Бедны или не содержат  $O_2$ . Подклассы  $N_2-CO_2$  и  $N_2-CO_2-H_2S$ . Я здесь привожу 4 сборных в да.

<sup>5</sup> Сборный вид—несколько видов. Не изучены.

<sup>6</sup> Может быть пет рассолов? т. е. больше 5% твердого остатка.

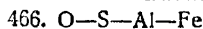
<sup>7</sup> Приведены только воды, для которых имеются анализы. Не меньше видов, чем сколько известно рассольных озер, может быть даже больше.

<sup>8</sup> Подклассы  $N_2-CO_2$ ,  $N_2-CO_2-H_2S$ , может быть  $N_2-CO_2-CH_4$ .



**Семейство 120: Культурные рассольные грязи (илы)**

Виды:<sup>10</sup>



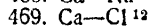
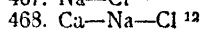
389.

**Подцарство XXXVI:**

**Пластовые воды<sup>11</sup>**

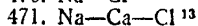
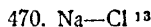
**Семейство 121: Пластовые напорные воды**

Виды:



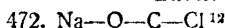
**Семейство 122: Воды нефтяных месторождений<sup>13</sup>**

Виды:



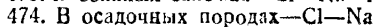
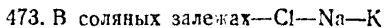
**Семейство 123: Ископаемые морские иловые и донные воды**

Виды:



**Семейство 124: Воды связанные с историей озер**

Виды:



390.

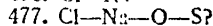
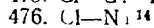
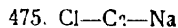
**Подцарство XXXVII:**

**Восходящие воды**

**Семейство 125: Минеральные источники**

Виды:

**1-й ряд: Воды содержащие Cl в основном комплексе**



**2-й ряд: Воды содержащие в основном комплексе S, но не содержащие Cl**

<sup>9</sup> Подклассы  $N_2-CO_2$ ,  $N_2-CO_2-H_2S$ , может быть  $N_2-CO_2-CH_4$ .

<sup>10</sup> Несколько видов.

<sup>11</sup> Нахождение рассольных грунтовых вод (верховодок) не установлено с несомненностью.

<sup>12</sup> Подклассы  $N_2$ ?  $N_2$ —углеводороды?  $CO_2$ ?

<sup>13</sup> Вероятно очень распространенное. В подклассах должны входить углеводороды. Богаты Ra? нафтеновыми кислотами?

<sup>14</sup> Подклассы: 1.  $CO_2$ . 2.  $N_2-CO_2$ . 3.  $CO_2-N_2$ . 4.  $N_2$ .

478. S—O—Na  
479. O—S—Mg  
480. O—S—Mg—Ca

391.

*Подцарство XXXVIII:*

**Рассолы, связанные с вулканическими явлениями**

*Семейство 126:* Рассолы, связанные с вулканами

*Виды:*

481. O—S—Mg—Na—(Ca)  
482. H—Cl—(Fe—S—O)  
482a. Cl—Na—(H)

*Семейство 127:* Концентраты соффион (борных гейзерных вод)

*Виды:*

483. O—S—N—Mg—B

392.

*Подцарство XXXIX:*

**Воды пород и минералов<sup>1</sup>**

*Семейство 128:* Волосные воды массивных пород

*Виды:*

484. Алюмосиликатовые и силикатовые рассолы<sup>2</sup>

*Семейство 129:* Воды включений минералов и горных пород<sup>3</sup>

*Виды:*

485. Na—Cl—SO<sub>4</sub><sup>4</sup>

*Царство девятнадцатое:*

**Глубинные рассолы<sup>5</sup>**

393. Четыреста восемьдесят пять видов минералов группы природ-

<sup>1</sup> Совершенно неизученное подцарство природных вод. Многие указывают на существование относящихся сюда капиллярных алюмосиликатовых и силикатовых рассолов—но доказанным это считаться не может.

<sup>2</sup> Должно быть много видов вод.

<sup>3</sup> Не изучены. Очевидно очень много видов.

<sup>4</sup> CO<sub>2</sub>—N<sub>2</sub>? (в кварцевых жилах).

<sup>5</sup> Совершенно не изучены. Должно быть рассолы господствуют до тех температур и глубин, где может сохраниться твердое состояние вещества и температура не достигает критической точки для воды (водных растворов).

ных вод, из которых многие являются ясно сборными видами, т. е. такими, которые сейчас не поддаются уточнению и разделению (как видно из всего вышеизложенного), далеко не охватывают все реально существующие природные воды.

Значительное большинство из них недоступны сейчас для нашего непосредственного изучения, но и из доступных мы знаем сейчас много меньше половины.

Как уже указывалось, наши знания в этой области в значительной мере обусловлены потребностями человеческой жизни, т. е. выдвинуты и изучены не те виды вод, которые основным образом определяют строение планеты, а те, которые определяют человеческую жизнь. Получается до некоторой степени искажение реальности, ибо нашей задачей является изучение истории природной воды безотносительно к человеческой жизни, которая сама является наряду с другими, более мощными, лишь одним из факторов минералообразовательных процессов.

Несомненно, часть этих вод быстро войдет в наш список, будет научно установлена, как только сознание значения их изучения будет учтено.

Огромное число таких вод принадлежит биосфере. В биосфере, как я уже указывал, непрерывно создаются человеческой культурой новые виды и исчезают или изменяются девственные древние.

Те и другие доступны для изучения и будут учтены и узаны, когда будет понято значение их познания для понимания химии нашей планеты.

394. Но сверх того вода глубоких частей земной коры—огромная по массе и по трудности научного ее изучения—чрезвычайно мало охвачена научною мыслью. А между тем в ней мы встречаем огромную область вод, в которых кремний и алюминий играют роль, которой они не имеют в областях планеты, с точки зрения истории

воды изученных. Эти кремне-алюминиевые (вероятно азотные, богатые углеводородами может быть углекислые) воды не введены в нашу таблицу, так как мы только и знаем, что эти тела должны существовать в механизме земной коры.

Точно так же в нее не введены глубинные воды, богатые металлами и серой, должно быть азотно-сероводородные, может быть содержащие метан и углеводороды, может быть углекислоту (тиоуглекислоту?). Это воды цинковые, медные, серебряные, свинцовые, железные, никелевые, кобальтовые, висмутовые мышьяковые, сурьмяные и т. п. Мы знаем об их существовании лишь из наблюдений над строением жильных месторождений.

Еще третий род вод здесь не упоминается, который, однако, по видимому несомненно существует и играет видную роль в истории воды. Это фтористые (фтористо-кремневые?) воды, — вероятно азотные или азотно-углекислые.

395. Все это виды вод, связанные с сушей, с ее глубокими областями, лежащими за пределами стратисферы.

Но в биосфере и в стратисфере есть другие воды, которые не включены в рассматриваемый список.

Это с одной стороны многочисленные типы вод, лишь некоторые (немногие) представители которых попали в список, — воды вадозные, никогда не собирающиеся большими массами. Это, например, те капли селитр, которые выделяются в местах, часто связанных с человеческой культурой, капли растворов хлористого калия, выделяемого злаками в некоторых жарких странах (напр. пшеница в Египте), те непрерывно выделяемые растворы чистого  $\text{CaCO}_3$  (богатые  $\text{CO}_2$  воды карстовых областей, сталактитовых пещер), коллоидальные растворы гидрата кремнезема, дающие начало агатам,

кремням и т. п. Таких вод, вероятно, очень много; вероятно, тщательное изучение минералов земли доведет их число до нескольких сотен. Не было попыток их учета и ни разу не анализировались эти постоянно повторяющиеся, частью периодические (как указал Б. К. Поленов) минералы земли, никогда не собирающиеся заметными массами. Не может быть сомнения, что в механизме земной коры эти минералы воды должны играть в конце концов очень важную роль, но сейчас ее оценка от нас ускользает из-за недостатка систематических наблюдений.

Тщательная регистрация и анализ этих нас окружающих и появляющихся вод является важной и нужной работой. Чем тщательнее и скорее она будет сделана, тем скорее и глубже можно продвигнуться дальше в истории природных вод.

Эта задача не представляет особых затруднений.

396. Гораздо более трудной и неразрешимой в настоящее время задачей является классификация волосных вод (капиллярных) проникающих, как мы видели (§ 60), все земное твердое вещество.

Эти воды по массе сравнимы с массой воды океана (§ 40). В форме горной „влажности“ есть переходы этих вод в обычные капельножидкие их формы, но огромная часть этой воды не ощущается нашим органам чувств — например, та вода, которая проникает плотные „свежие“ породы, такие, как например, массивные основные (например, дунит) и кислые (например, гранит), заключающие в самых свежих образцах  $n \times 10^{-10}\%$  воды.

К какому классу и подклассу принадлежат эти воды? Повидимому, огромное их большинство принадлежит ко второму классу соленых вод. Значительная часть этих пленочных вод рыхлых пород биосферы принадлежит к пресным водам. Неясно, могут ли они принадлежать к рас-



солам, что мне кажется очень вероятным для глубинных и для очень древних пород, Точно так же неизвестны сейчас подклассы этих пород, так как нет анализов их газовых составных частей.

К сожалению, нет количественных анализов — и даже очень мало качественных проб — для этих вод.

Мне кажется, совершенно необходимо, чтобы при суждении о химическом составе горных пород не только принималась во внимание их — удаляемая ниже точки кипения воды — влажность, но и состав этой влажности. Так же, как и для почв — почвенный раствор, так и для пород — раствор их влажности — не только является элементом их характеристики, но и реальным естественным телом, требующим независимого от них изучения, — как его свойств, так и его положения в организованности геосфер.

397. Вода, захватываемая горными породами в виде влажности, не является химически чистой водой, а имеет определенный химический состав, отвечающий месту горной породы в геосфере.

Этим первым делом определяется ее газовый состав. Повидимому, подавляющая масса такой капиллярно-пленочной воды содержит азот и углекислоту. Судя по составу вод включений в породах и минералах — обычно микроскопически мелких, которые связаны морфологически с этими водами, большую роль должны играть углеводороды. Но в водах пород биосферы в них должен входить кислород. Нельзя утверждать, чтобы он не сохранялся и при выходе этих пород из биосферы в тектонических перемещениях.

Вся эта область явлений сейчас не охвачена научным опытом и вызывает целый ряд вопросов, на которые физика частичных сил не дает ответа: меняется ли концентрация и состав водных растворов при проникновении в эти мельчайшие пустоты? Каков режим входящих в воду газов? Сохраняется

ли их парциальное давление неизменным?

Твердое тело, ими проникнутое, не может быть инертным, не входить в особые равновесия. Должны иметь место явления диффузии и химического обмена в рамках геологического времени.

При полном проникновении породы влажностью, образующей систему невидных глазом тончайших пленок, все явления равновесия будут здесь иметь очень своеобразный характер. Вода проникает породу неподвижно, оставаясь в основе неподвижной в течение не только исторического, но и геологического времени, однако, химические реакции в этих тончайших пленках должны иметь место, так как отовсюду при соприкосновении с наружной средой должны проникать в воду „влажности“, как вода окружающих мест, так и сторонние тела. Всякое растворимое тело проникает во влажную среду (среду пленок) породы медленно, тысячелетиями, сказываясь в своих результатах только в ходе тысячелетий и десятков тысячелетий. В истории многих минералов влажность пород является важной областью химических реакций, которые только начинают охватываться научной мыслью. С этой точки зрения интересны недавние опыты А. Уайтмана (A. Whiteman, 1928), доказавшего, например, что диффузия KJ во влажном, находящемся во влажной среде, плотном куске мрамора (из Вермонта) происходит так же, как если бы она шла в сплошном объеме воды, отвечающей по объему куску мрамора. Эти опыты доказывают, что пленки воды, проникая во все мельчайшие поры и трещины мрамора, образуют в действительности единое, непрерывное целое. Химическая реакция и явления растворения в куске породы могут идти до известной степени так, как если бы вместо этого куска был отвечающий ему объем воды.

Все явления диффузии идут очень медленно, но в порядке геологиче-

ского времени эффект их может быть чрезвычайен.

Эти воды должны иметь большое значение в связи с радиоактивным распадом: в них должны собираться вновь образующиеся атомы радия, свинца, гелия, иония и т. д. Я вернусь к этому явлению в главе о геохимии воды.

Область этих вод неизучена. Все указывает, что перед нами здесь открываются десятки, если не сотни, новых видов породных вод.

398. Необходимость тщательного изучения с этой точки зрения горных пород и минералов становится перед нами с особой ясностью, когда мы обратим внимание, насколько слабо представлена в списке вод вода включений (в главной части — микроскопических) горных пород и минералов. В сущности после основных работ Г. Сорби (H. C. Sorby 1858—1869) наши знания о химизме процесса (§ 420, 495) остановились; получены лишь отдельные поправки и частности. В общей форме значение этих водных растворов не осознано минералогами и геологами, а между тем в отдельных случаях мы и сейчас имеем здесь воды, которые совершенно не повторяются ни в одном подцарстве, например, равновесия:

$\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2$  пресный водный раствор (под давлением).

Мы имеем здесь возможность проникнуть в глубинные воды, в такой степени, в какой не дает нам возможности никакая другая вода.

Включения водных растворов, проникающих иногда массивные и метаморфические горные породы в огромном числе, по наблюдениям Пфаффа (1870), вместе с волосной водой горных пород — составляют по весу 0,18—1,8% веса горной породы, исчисляя на химически чистую воду. Это дает понятие о масштабе явления.

Включения — кажущиеся нам замкнутыми, но в действительности вероятно тесно связанные с той губчатой системой, тем водным скелетом, который характерен для всякого минерала и горной породы земной коры в форме пленчатой волосной воды — требуют сейчас самого настойчивого, систематического изучения. Это изучение во многом изменит наши представления об истории природных вод в более глубоких участках земной коры.

После работ Сорби прошло 60 лет, и с тех пор мощность нашей научной работы более чем удвоилась. Тот, кто возьмется за эту работу сейчас, имеет перед собой область огромных и важных достижений.

398 А. Когда уже весь первый том этой книги был сдан в печать, первый его выпуск вышел в свет, а второй подписан к печати, вскрылось новое явление в свойствах природной воды, которое коренным образом меняет все наши о ней представления, открывает новые проблемы и заставляет пересматривать и уточнять — в мелочах и в крупном — ее историю на нашей планете.

В 1933 г. Уэри открыл существование тяжелого водорода с атомным весом почти вдвое большим, чем вес обычного водорода, а вскоре Льюис (оба в США) доказал присутствие в природных водах новых изотопических разностей воды с тяжелым водородом  $\text{H}^2$  и кислородом  $\text{O}^{18}$  — вод состава  $\text{H}_2^2\text{O}^{16}$  и  $\text{H}_2^2\text{O}^{18}$  на ряду с обычной  $\text{H}_2^1\text{O}^{16}$ .

Льюис же указал, что количество тяжелой воды в природных водных растворах меняется в зависимости от ее нахождения и что вода, обогащенная тяжелой водой  $\text{H}_2^2\text{O}^{16}$ , резко разнo выявляется по сравнению с обычной водой в разных биологических явлениях. Организмы разнo относятся к соединениям разных по весу изотопов водорода.

Это различие в биологических проявлениях, разных по их изотопическому

составу вод, очевидно должно глубоко отражаться на строении биосферы, при том значении, какое в ней имеют живые организмы (§ 112 и сл.).

Но помимо этого возникают сейчас же новые вопросы, которые раньше не ставились: должны — с новой точки зрения — быть пересмотрены все положения, которые выведены в первом и втором выпуске этого тома „Истории минералов земной коры“.

Все эмпирически выведенные положения остаются неизменными, но уточняются. Открываются новые понятия явлений.

Во-первых, открыто в составе природных вод новое переменное совершенно непредвиденное в главе о коллоидах и капиллярных водах в земной коре (§ 150 и сл.).

Новые отсутствующие в нашем эмпирическом суждении о водных растворах (§ 181 и сл.) компоненты выявляются в природных водных растворах  $\text{H}_2^2\text{O}^{16}$ ,  $\text{H}_2^2\text{O}^{18}$ ,  $\text{H}_2^1\text{O}^{18}$  — оставляя в стороне мыслимость соединений с  $\text{H}^3$  и с  $\text{O}^{17}$ . Вместо одного единственного компонента  $\text{H}_2^1\text{O}^{16}$  возможно шесть. В таблицу § 203 надо внести новую группу компонентов (4-ую) — изотопических компонентов воды. Всех родов компонентов будет 16, а не 15.

Несомненно новые проблемы возникают в связи с гидратацией и дегидратацией (309), с синтезом и распадением молекул воды (317).

Лишь эмпирическое исследование покажет, какие изменения придется внести и придется ли в классификацию минералов вносить группы воды (§ 333 и сл.).

В дальнейшем изложении в соленых и рассольных водах я буду принимать во внимание существование смесей изотопических молекул воды в природных водах и их изменения.

Фактический материал, однако, только что начинает собираться.

---