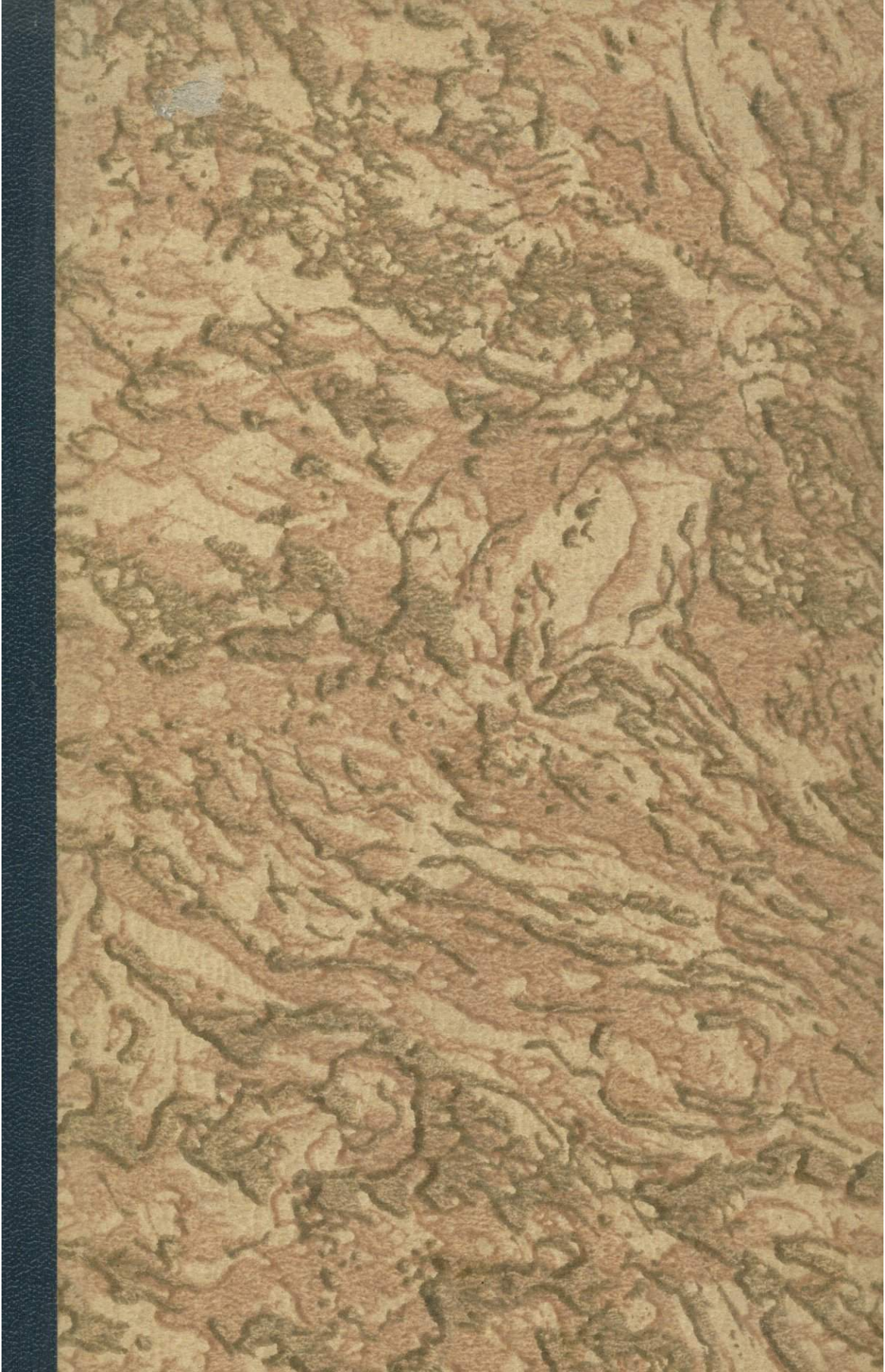




550.4 + 551.49

B-35

ИСТОРИЯ МИНЕРАЛОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Том второй

ИСТОРИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

Выпуск II



ОНТИ — ХИМТЕОРЕТ
ЛЕНИНГРАД — 1934



ХЛ 27, 5, 4

Книга представляет очередной (второй) выпуск первой части монографии „История природных вод“.

Настоящий выпуск включает историческое изложение эволюции представлений о химии природных вод в связи с изучением их истории в земной коре и сколько можно полную критическую сводку имеющихся химических данных о природных льдах, водяных парах и пресных водах.

В третьем (последнем) выпуске 1-го тома будет дана такая же сводка о водах соленых и рассольных (печатается).

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА КО 2-МУ ВЫПУСКУ

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

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

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

Х, 1934.

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. G. 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:

$\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2$ жидкий газ 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 разновидностей воды с тяжелым водородом H^2 и кислородом O^{18} — вод состава $\text{H}_2^{16}\text{O}^{16}$ и $\text{H}_2^{16}\text{O}^{18}$ на ряду с обычной $\text{H}_2^{16}\text{O}^{16}$.

Льюис же указал, что количество тяжелой воды в природных водных растворах меняется в зависимости от ее нахождения и что вода, обогащенная тяжелой водой $\text{H}_2^{16}\text{O}^{16}$, резко разновыявляется по сравнению с обычной водой в разных биологических явлениях. Организмы разнотроются к соединениям разных по весу изотопов водорода.

Это различие в биологических проявлениях, разных по их изотопическому

составу вод, очевидно должно глубоко отражаться на строении биосферы, при том значении, какое в ней имеют живые организмы (§ 112 и сл.).

Но помимо этого возникают сейчас же новые вопросы, которые раньше не ставились: должны — с новой точки зрения — быть пересмотрены все положения, которые выведены в первом и втором выпуске этого тома „Истории минералов земной коры“.

Все эмпирически выведенные положения остаются неизменными, но уточняются. Открываются новые понятия явлений.

Во-первых, открыто в составе природных вод новое переменное совершенно непредвиденное в главе о коллоидах и капиллярных водах в земной коре (§ 150 и сл.).

Новые отсутствующие в нашем эмпирическом суждении о водных растворах (§ 181 и сл.) компоненты выявляются в природных водных растворах H_2^{16}O , H_2^{18}O , H_2^{17}O — оставляя в стороне мыслимость соединений с H^3 и с O^{17} . Вместо одного единственного компонента H_2^{16}O 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.

VII. Эволюция представлений о химии природных вод в связи с изучением их истории в земной коре

399. Химия природных вод и есть ее минералогия. Может быть ни для одного природного тела это не сказывается так резко; ибо ясно на каждом шагу, что нельзя изучать химию природных вод, не изучая ее природную обстановку. Гидрохимия — химия природных вод — есть часть наук о земле, часть минералогии. С этим мы уже встретились, когда в классификацию природных вод надо было, как видные и исходные признаки деления, внести физико-географические и геологические явления (§ 336).

Гидрохимию нельзя охватить, основываясь только на данных современной химии и физической химии. Она сейчас, как столетия раньше, охватывает множество проблем, которые выходят за рамки современной физики и химии. Можно думать, что так будет всегда, так как по мере улучшения методов физики и химии в гидрохимии открываются новые, негаданные явления, которые остаются за пределами опытного знания данного исторического момента. Сложные природные явления никогда нацело не охватываются научными построениями.

Сложность изучаемых в гидрохимии явлений такова, что они во всякую эпоху научного развития выходят за пределы современной им физики и химии. Несмотря на огромный рост наших знаний с XVII века, когда впервые основные начала физики и химии охватили понимание природных вод, несмотря на огромные успехи точного знания, область, стоящая за их пределами, не уменьшилась.

Так будет и дальше. Изучение природных вод должно основываться на физике и химии, но оно всегда выходит за пределы их исторически меняющегося содержания.

К этому присоединяется и то, что задачи, которые ставятся гидрохимии, далеко не укладываются в рамки изучения природных вод, как естественных тел планеты — минералов и пород. Часть ее задач ставится потребностями жизни, и приходится изучать такие свойства и такой состав природных вод, которые имеют значение только в связи с жизнью человека и его техникой. Эти проблемы выступают на такое место в гидрохимии, какого они никогда в ней не имели бы, если бы вода изучалась вне прикладного ее характера.

400. В конце концов им был придан химический облик — ибо все свойства тел связаны с их химией и физикой.

Так в гигиене принимают за хорошую питьевую воду — воду, в которой не превышаются следующие числа в весовых ‰ (пределы Тимана и Гертнера (1889—1910), принимаемые Г. В. Хлопиным. 1929).

сухой остаток	$5.0 \times 10^{-2}\%$
органических веществ . .	$4-5 \times 10^{-3}\%$
Ca и Mg	$1.8-2.0 \times 10^{-2}\%$
Cl	$2-3 \times 10^{-3}\%$
SO ₃	$8 \times 10^{-3} - 1.0 \times 10^{-2}\%$
N ₂ O ₅	$1.5 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-4}\%$
NH ₃ , NO ₂	крайне ничтожные следы

В то же время чистая вода может заключать по Микелю (указываются Г. В. Хлопиным, 1929) в 1 см³ до 1000 колоний бактерий (примерно порядок $10^{-7}-10^{-8}\%$ по весу).¹

Вся система исследования вод, с точки зрения жизненного их значения, связалась с их химическим составом.

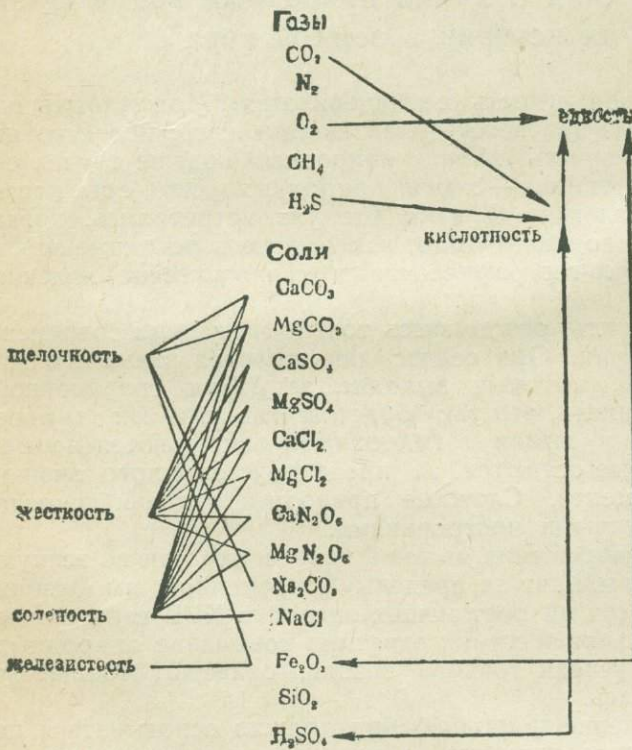


Рис. 9. Схема А. Бусвелля.

Нужные человеку свойства выдвинуты жизнью, и их физико-химическое изучение резко сказалось на эволюции наших представлений о химии природных вод.

Очень ярко выдвинуты эти свойства в таком аспекте схемой А. Г. Бусвелля (1928), недавно воспроизведенной в русской литературе Н. Славяновым (1929), связывающей интересные человека физико-химические свойства природных вод с их химическим составом. Вот эта схема (рис. 9).

Среди этих свойств мы видим ряд таких, которые отсутствуют в точном физическом описании и определении химических тел. 401. Изучение этих свойств воды, важных для жизни, шло одновременно с независимым изучением ее свойств, как естественного тела (минерала) или как химического соединения.

И в том и в другом случае применялись научные методы исследования, и иногда эти определения воды совпадали.

Но воду изучали с физической и с химической точки зрения и другим

¹ Принимая во внимание и другие указания, в том числе и такие, которые относятся к сухим местностям с соленоватой водой [для Екатеринославской губ. — Буткевича (1914) и К. Лисицина (1927) — для Донской], сопоставление Н. Славянова (1929) дает следующие максимальные числа (весов. %):

сухой остаток	$2.5 \times 10^{-1}\%$	N ₂ O ₅	$1.0 \times 10^{-2}\%$
Cl	$3.0 \times 10^{-2}\%$	NH ₃	$1.0 \times 10^{-4}\%$
SO ₃	$5.0 \times 10^{-2}\%$		

путем — в ее проявлении в окружающей среде, в ее отражении в химических процессах и в химических свойствах всех форм воды, которые получались в результате природных процессов; изучали состав почвенных, волосных вод, проникающих твердые тела, или воды, которая заполняет природные вместилища, частью образовавшиеся ее деятельностью.

Исключительное значение воды в истории земли ставило и необычные пути в изучении ее химических свойств и химического состава. Их изучают не химики — задания ставятся не химией.

Так, изучая деятельность льда, в частности явления замерзания морской воды, геолог изучает химический состав соленых разностей льда и изменение тех своеобразных рассолов, которые получают при кристаллизации морского соленого льда; биолог, исследуя условия жизни организмов, выясняет химический режим газов водных бассейнов или химический состав донных вод; определяя состав муты, географ изучает и состав текущих водных масс — речной воды.

Те же или вернее того же порядка химические проблемы выступают при изучении природных водных масс в приложении к жизни вне той схемы, которая дана Бусвеллем (§ 400), в приложении не к быту человека, а к государственным и социальным его проявлениям.

Вопросы гидрохимии выступают при изучении явлений орошения, ирригации, гидротехнических сооружений и т. п.

Химия природных вод создается таким образом особым путем, отличным от других отделов химии. В ней все большее и большее значение приобретают проблемы и факторы, вызывающие исследования, чуждые обычным химическим лабораториям.

402. Вся научная работа, связанная с разнообразными практическими заданиями, шла одна от другой независимо, производилась специалистами, зачастую не знавшими о смежной работе в других науках.

Химия минеральных вод и грязей тесно связана с врачебной практикой — с бальнеологией; изучение пресной воды — рек, озер, источников, грунтовых и пластовых вод — является уделом гидрологов и гигиенистов; изучение морской воды составляет задачу океанографов; исследование химии вод почвенных, ирригационных, напорных пластовых, вод орошения занимает внимание специалистов, далеких от перечисленных, — инженеров и техников, почвоведов и агрономов.

Благодаря этому гидрохимия и минералогия вод, как целое, сложились медленно, подходили к единому охвату природных вод круглым путем.

История эволюции идей в этой области приобретает поэтому очень своеобразные черты и заслуживает пристального внимания.

403. Основные понятия и эмпирические обобщения современной гидрохимии и минералогии вод сложились во второй половине прошлого века, но они вырабатывались в течение столетий, вернее тысячелетий, и медленно проникали в научное сознание.

Самый объект гидрохимии, понимание ее содержания, связи ее с минералогией не являются чем нибудь установленным. Они постоянно меняются. То ее понимание, которое проводится в этой книге, во многом отличается от распространенных ее определений, ибо гидрохимия природных вод есть часть минералогии, что обычно забывается.

Научное изучение гидрохимии в современном ее направлении может быть прослежено в непрерывном последовательном развитии с конца XVI, с начала XVII столетия. Но уже за долгие столетия раньше началась научная работа в этой области. Корни наших представлений могут быть прослежены вглубь, на тысячелетия.

404. История наших представлений о природных водах своими корнями уходит в глубь дальше захваченных записью преданий. Значение воды в природе и жизни вызвало глубочайшие обобщения в трех древнейших

центрах цивилизаций — средиземноморской (Египет), месопотамской и индийской.¹

405. Корни нашей научной мысли связаны с гущей жизни — в частности с лечебными свойствами воды и с ее значением в земледелии. Они идут много глубже в даль веков, чем думают, и только отчасти связаны с проникнутым и религиозным художественными вдохновением, религиозными и философскими интуициями, построениями и обобщениями, далекими отголосками которых являются письменные памятники.

Далеко в прошлое идут те проблемы, которые выдвигались ирригационными и гидравлическими работами, техникой в узком смысле этого слова. Ясного понятия о сумме эмпирических знаний в этих областях в эти далекие от нас времена мы сейчас, к сожалению, иметь не можем. Нельзя однако не отметить, что история знаний начинается со все большей точностью выявлять такой объем этих эмпирических знаний и во многом такое их совершенство, которому не верила наука XIX столетия. Мы начинаем осторожнее относиться к уцелевшим указаниям эллинских писателей и к догадкам историков знаний конца XVIII столетия, представлявших себе ход цивилизации иначе, чем мы.

В огромной литературе тысячелетий, из которой до нас дошли ничтожные отрывки, но которая оказывала в свое время влияние целиком и существовала, и охватывала в течение столетий научную мысль в таких размерах, которые мы не можем сейчас даже себе представить, несомненно находятся корни многих современных представлений. Но очевидно непрерывное развитие гидрохимии и минералогии воды не могло иметь места, пока не были выявлены в основных чертах две стороны научной картины мира: во-первых, пока не были выяснены основные черты химии и эмпирически и, хотя бы без всякого теоретического объяснения и рационалистического понимания, реально введены в научный обиход химические элементы, и во-вторых — пока не были получены основные понятия о Земле — о ее размерах, о ее форме и о ее положении в Космосе.

К этому научная мысль начала подходить с XVI столетия, приблизившись к нему в предыдущем XV веке. С XVI века может быть прослежен, явно начинается сперва медленный, а затем все более быстрый ход научной мысли в этой области, приведший к современным представлениям.

Основным условием этого развития явилось создание новых точных инструментов и научной терминологии. XVII век — в частности по отношению к природным водам — дал основы точной методики для измерения температур, метеорологических инструментов, определения туч и влаж-

¹ П. И. Вальден правильно вспомнил их, как исходные построения обобщающей мысли в ее научном проявлении, в истории химических представлений о растворах. Древнейшие космогонии Междуречья, культурное влияние которого сказывается во всех древнейших культурных центрах Старого Света, от Китайского до Эллинского, так представляли роль воды в мироздании: „еще не быловерху неба и внизу земли“ — но уже царствовали боги океана (Апсу) и моря (Тиамата). Так сложилось представление о Вселенной за 5000 лет до нашего времени, в котором основная роль отводилась водным скоплениям. Одно тысячелетие примерно позже в Египте космогония охвачена той же идеей: „В начале не было ни неба, ни земли; окруженную густым мраком вселенную наполняла первичная вода“. Еще через одно тысячелетие в Ригведе — гимнах древней Индии (X. 121. 4) — роль воды определялась так же: „Тогда еще не было ни бытия, ни небытия, ни воздушного океана, ни небесного свода — был мрак, было первичное вселенское море“...

В этих попытках обобщающей мысли путем космогонии, на протяжении тысячелетий, выявилось понимание значения воды в земных явлениях, в жизни прежде всего, какое охватывало мыслящего человека, которое проникало сознание состоящего в большей своей части из воды живого существа, до зарождения научной работы. Он перенес на всю Вселенную то, что он видел и чувствовал на Земле.

Это древнее представление перешло в древнюю эллинскую науку немногих столетий позже сложения Ригведы. Его мы видим у Фалеса. Но у него оно приняло другой характер — не „воды“ и Океан-море, а вода, как жидкое, подвижное, всепроникающее, являлась началом всего. Оно сохранялось века в построениях, связанных с ионийской философией.

ности, приборов и методики точного химического анализа, научных классификаций.

В это время стал основной задачей научной работы — точный, количественный учет всех без исключения окружающих явлений и предметов, выработка такой научной терминологии, которая позволила бы создать общий, единый для всех научный язык, точный, ясный и удобный.

406. Можно оставить поэтому в стороне научные искания эллинской науки, которые сохранились в небольшой части в средние века или вошли в эпоху Возрождения. Надо лишь помнить, что в древней эллинской науке уже были первые, точные основы научных представлений о физико-химических свойствах природных вод и о их различии в этом отношении. Так мы находим у многих древних ученых, в частности в эпоху Аристотеля, в общем правильное представление о соотношении между атмосферными осадками и речным режимом.¹

У одного из известных врачей первого века нашей эры — у Архигенеса из Апамен — мы находим деление минеральных вод на щелочные, железистые, соленые и серные, очевидно очень древнее деление, связанное с уходящей далеко вглубь, может быть за тысячелетие до него — бальнеологической обобщающей мыслью.

Но в эпоху, когда складывалась наша научная мысль в XV—XVII столетиях, эти и другие точные указания эллинской мысли и научной работы XII—XV столетий терялись в чуждой науке постановки религиозных и натурфилософских построений грубой эмпирии техники. Они мало влияли на научную мысль.

Наша научная мысль в этой области знаний медленно в течение долгих столетий с XV века выходила на верный путь.

407. Для того чтобы понять медленный ход достижений в гидрохимии и в минералогии воды, необходимо восстановить ту странную картину природы, которая царила в науке в некоторых случаях до первой половины XVIII века и которая не допускала выхода на верную дорогу. Она ясно выявлена историческими изысканиями прежде всего немецкого ученого Э. Виссоцкого (E. Wisotzki. 1897). Вплоть до конца XVII века представление о количестве воды в реках и дождях по сравнению с количеством воды Океана и морей было обратным тому, какое отвечает реальности — считалось, что реки по массе преобладают в ежегодном своем проявлении над массой воды Океана и морей, и в то же время не принималось во внимание существование в атмосфере невидимого водяного пара, выпадающего в виде росы или сгущающегося в тучи. О нем не знали. Для того чтобы объяснить постоянство уровня океанов и морей, представляли себе землю, пронизанную пустотами, в роде губки, и считали, что океаническая и морская вода проникает в сушу. Эту воду видели в соленых и в минеральных источниках, отличие состава которых от морской воды было неясным, и в соленых озерах, присутствие которых не представлялось чемнибудь особенным. Одной из загадок, вызывавших чрезвычайное внимание и большую литературу, было Каспийское море. Не могли понять, как это в него все время текли реки и на него падали дожди, а уровень его оставался прежним. Считали логически неизбежным допустить, что Каспийское море имело подземное соединение или с Черным морем или с Океаном каким-нибудь другим путем. Точная географическая карта Каспийского моря, снятая по инициативе Петра I Ф. И. Соймаиновым и др., имела поэтому большое значение. В нем (как и для Ботнического залива) искали где-нибудь водоворот, куда уходила бы в недра земли из него вода, одного из тех водоворотов,

¹ Сейчас нередко эти идеи приписываются Витрувию. Витрувий лишь излагал то, что за несколько столетий до него научно знали древние греки, опиравшиеся на достижения точного научного знания IV и V веков до нашей эры.

которые царили в науке в XVI—XVIII веках, сохранились в фольклоре моряков вплоть до наших дней и которые связаны с этим древним представлением о строении планеты. Еще в 1748 году наша Академия Наук по инициативе Бюффона обращалась к местным властям в Астрахань с запросом, есть ли какие-нибудь указания на водовороты в Каспийском море. Основываясь на полученном ответе, вопрос о подземном соединении Каспия с Океаном был решен Бюффоном отрицательно. Скоро началась обратная реакция, и правильно замеченные в XVIII веке понижения уровня Каспийского моря аббатом Шапп д'Отрош (Chappe d'Auteroche) были сочтены им же ошибкой (1761). В XVIII столетии это были уже отголоски замиравшего научного представления.

408. Ибо уже в конце XVI, в начале XVII века отдельные исследователи имели правильное представление о взаимоотношении воды тропосферы, суши и океана. Самостоятельно мысливший и шедший вне рамок школьной науки гениальный художник, керамист, натуралист, погибший стариком в тюрьме, гугенот Б. Палисси (B. Palissy, 1510 - 1590) имел о круговороте воды в биосфере совершенно правильные, в основе современные, представления. Отдельные — немногочисленные — голоса раздавались, как мы теперь видим, и позже, в первой половине XVII века, возражавшие против господствовавших ложных построений. Но только в конце XVII века, после того как был к решению вопроса применен количественный метод учета и математического охвата явления, впервые — П. Перро (P. Perrault) (1674), создалась в этой области наша современная картина мира. П. Перро принадлежал к замечательной семье четырех братьев, оставивших глубокий след в культурной истории Франции второй половины XVII века (один из них был строитель Лувра). Применяв на частном примере Сены точный математический учет метеорных осадков, дебита реки, испарения, он доказал, что в первом приближении здесь наблюдается явление, отнюдь не требующее каких-нибудь особенных гипотез для объяснения наблюдаемого постоянства морского уровня. Хотя казалось против выставленного им численного охвата явления трудно было возражать без новых наблюдений, но идея Перро была признана лишь после его смерти. В свое время она обратила на себя внимание, и по его пути пошел крупный ученый, человек одного круга с Перро, Э. Мариотт (E. Mariotte ум. 1684), который пошел дальше и глубже и которому часто приписывают начало нового понимания явлений, приведшего к крушению старых идей. Но вскоре ход идей был забыт. Значение Перро было установлено через 200 лет Э. Высоцким (1897). Любопытно, что и это было забыто, и в 1928 году канадский геолог Ф. Адамс вновь выдвинул роль Перро, с большим трудом восстановив авторство П. Перро в анонимном английском изложении работы его в изданиях Лондонского Королевского Общества XVII века...

Работа Мариотта была напечатана в 1686 году после его смерти, и сейчас же — и независимо — те же идеи были развиты еще глубже и шире (1687—1691) молодым современником Перро и Мариотта — Э. Галлеем (E. Halley. 1656—1724). Галлей ясно понимал, что вопрос идет об одном из важнейших равновесий в биосфере, „grand Phaenomenon“, как он говорил. Он впервые выдвинул в нем значение росы и невидимого водяного пара (1687) атмосферы. Он же первый указал (1691) на важное и закономерное значение в этом равновесии живого вещества — растительности суши.

409. П. Перро, Э. Мариотт и особенно Э. Галлей впервые установили в 1674—1691 годах существование в биосфере основного равновесия (рис. 10).

С этого времени гидрохимия получила прочную базу, и можно проследить непрерывный, все разрастающийся ход научной работы в этой области.

Старший современник Галлея, одновременно с ним независимо работавший, один из основоположников современной химии, точный и неутоми-



Рис. 10

мый экспериментатор Р. Бойль (1621—1691) пошел дальше. Он остановился на химическом характере морской воды — на содержании в ней солей и газов.

Для Бойля солёность моря являлась исконным явлением, но он учитывал (1674) и принос солей реками благодаря выщелачиванию суши; в то же время Бойль подчеркивал равновесие дна и берегов морей. Уже вскоре (1691) Галлей в свое равновесие ввел и унос солевых частиц из морей испарением морской воды.

Бойль установил или вернее обратил внимание на другое равновесие:

Вещество суши $\longleftrightarrow$ Вещество гидросферы,

играющее еще большую роль в гидрохимии нашей планеты и охватывающее множество — главную массу — химических элементов.

Бойль не делал вывода о денудации суши, но делал другой; он поставил вопрос о постоянстве солевого состава морской воды. Средняя солёность, им определенная, близка (с точностью до 1%) к современной, как это указал Г. Менникс (G. Moennicks 1899).

Он покончил и с другим живым еще в его время ложным представлением — с мыслью о пресном характере морской глубинной воды. Хотя уже в конце XVI столетия (Патриции и Мочениго — около берегов Кандии) доставали солёную воду из морских глубин, но старая идея, связанная с губчатым, переполненным пустотами, куда вливаются пресные реки, строением земных глубин, еще господствовала в эпоху Бойля. Точные исследования Бойля глубинной воды из прибрежных к Англии морей предали забвению старое заблуждение.

Еще важнее открытие другого явления, в котором Бойль играл очень видную, ведущую роль. Это — выяснение газового режима природных вод. Два крупных человека создали здесь основы нашего знания — О. Герике, ученый и государственный деятель (1602—1686), и Р. Бойль, ученый и теолог (1621—1691) — оба крупнейшие экспериментаторы с ясным, точным и глубоким пониманием природы.

Работая над дыханием животных, Бойль (1670) поставил вопрос, который, как ему казалось, „не ставил еще до него человек“, — растворяется ли воздух в воде — и вообще в жидкости. Он сознавал трудность задачи, ему казалось, что количественное решение вопроса представляет собой непреодолимые трудности „и возможно ли еще вообще“ (if at all possible). Отто Герике опубликовал сам свои результаты позже (1672), но он ясно понимал явление прежде Бойля, и он первый (раньше Бойля) изобрел воздушный насос (1641 по Э. Гоппе), многократно делал долгие годы опыты с ним публично; его результаты стали широко доступны за пределами Германии в работе О. Шотта (1664).

Герике и Бойлем растворение воздуха (т. е. газов) в воде было неопровержимо доказано. В 1690 году, через 20 лет, к тому же вопросу уже более точно количественно подошел и вновь его установил И. Бернулли (J. Bernoulli. 1665—1708). С тех пор это представление вошло в научное сознание.

Так было установлено третье основное равновесие природных вод

газ $\rightleftharpoons$ вода

в его форме господствующей в биосфере:

газ $\rightleftharpoons$ жизнь
↙ ↘ ↗ ↖
вода.

В истории воды его значение стало ясным только в XIX столетии (§ 482).¹

410. К Бойлю мы подходим, изучая ход и других частей гидрохимии с его времени непрерывно и неудержимо, исходя из его идей, находящихся в интенсивном эволюционном процессе.

Он положил основы нашему представлению о химическом элементе, о простом химическом теле. Он же овладел совершенно небывалым до него знанием свойств этих тел, дал основы аналитической химии.

И в то же время, резко отделив минеральные источники от морской соленой воды и связывая их с химическим действием воды на окружающую их твердую земную среду, он окончательно выяснил их отличный от моря и разнообразный химический характер (1685).

Вместе с тем он ясно понимал и другое явление, связанное с целым рядом этих вод,— их переход на земную поверхность из земных глубин, обладающих высокой температурой.

Повышение температуры очевидно было замечено уже давно в рудной практике, хотя в это время не доходили до тех больших глубин, где оно очень заметно. Несомненно, сознание о нахождении на земных глубинах горячих вод уже в конце XVI—в начале XVII века проникало в ученую среду; находят отдельные неясные указания в литературе начала XVII в., но в более общей форме идея о горячих водах земных глубин была печатно высказана в середине XVII в.: А. Кирхером (1601—1680) в 1657—1664 годах и в посмертном издании работ И. Б. Ван Гельмонта (1577—1644) в 1648—1656 годах. Ван Гельмонт даже высказывал предположение, что эти горячие (теплые) подземные воды по массе превышают океаны и реки. Это все старшие современники Бойля. Бойль первый, однако, повидимому пытался учесть существование нагретых подземных вод в указанных выше представлениях об их значении в истории природных вод.

411. Окончательное представление о высокой температуре земных глубин, хотя и принятое в философской концепции Декарта (1643), вошло вполне в сознание и распространилось лишь в XVIII столетии и стало господствовать в первой четверти XIX века (§ 420).

В истории природных вод оно сказалось в двух областях: в учении о минеральных источниках и в учении о происхождении минералов и металлических руд, о вулканических явлениях.

Минеральными водами издревне занимались; их изучали врачи. С успехами химии в XVII столетии наши знания о них получили прочную основу, уже эмпирически точную, раньше чем был узан состав самой воды и создано понятие раствора (§ 413).

Непрерывно со второй половины XVII и в первой половине XVIII в. ряд выдающихся врачей обратил особое внимание на изучение химических свойств минеральных вод в связи с их медицинским значением. Ф. Реди (1626—1691), Дюкло (1675. Cotereau и Du Clos ум. 1715), А. Вальснери (A. Wallisneri 1661—1730), Ф. Гоффманн (F. Hoffmann. 1660—1742) и другие собрали огромный точный материал. Гоффман перенес на континент точную методику великих английских ученых этого времени,

¹ Нельзя не отметить что как раз анализ этого явления для воды дал первую опору толистическому представлению о газах (и химических телах) И. Дальтона (1803) (ср. § 415).

прежде всего Р. Бойля (§ 409). Он может считаться основателем бальнеологии. Дюкло (1667) открыл в них (и в море) магний, а к началу XVIII в. Гоффманн дал научную химическую классификацию минеральных вод (1708).

Через 70 лет Т. Бергманн (1748) (Т. Bergmann. 1735—1784) знал, что в природных водах находятся в растворе газы—воздух, CO_2 , углеродороды, органические соединения, углекислые, сернокислые и азотнокислые соли, аммоний, Na, K, Ba, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Co, As, сернистые соединения.

412. Эти шедшие снизу термальные источники, которые сейчас мы связываем с теми гидротермальными водами, которые дают начало минеральным—рудным—жилам, долгие столетия стояли в научной мысли от них отдельно.

Минеральные жилы обратили на себя внимание уже давно, в связи с рудным делом. Агрикола (Г. Бауэр. 1440—1555) и Р. Бирингуччио (1480—1531) уже в XVI столетии свели—и самостоятельно обобщили—вековой опыт рудокопов. Для них были ясны влияние воды в образовании этих жил и их связь с трещинами и пустотами биосферы и стратисферы.¹

Однако прошли столетия, пока эта мысль приняла научную форму и привела к идеям, открывшим путь к научным работам. Здесь мы не видим самого объекта, водного раствора, который должен был быть целиком восстановлен из наблюдения его твердых продуктов, следов его нахождения. Его проявление изучалось в биосфере или в стратисфере, а раствор существовал глубже.

И сейчас только начинают восстанавливаться в нашем научном сознании основные черты процесса.

Очень далеки от современных представлений все многочисленные теории и объяснения, которые господствовали в эпоху, когда не было понятия о химическом элементе, о растворе, о растворении воды, когда допускались воздействия небесных светил для зарождения металлов...

В отличие от минеральных источников, где участие воды и приход вод из глубин видны и ощутимы, надо было подойти к этому путем толкования на вид совершенно других явлений—металлических руд и их нахождения в горных породах.

Путь был долгий. Несколько этапов мысли должны быть здесь отмечены.

Участие поверхностных вод и поверхностных трещин было ясно со времен Агриколы и в разных формах было высказываемо. С трудом пробивалось сознание о значении вод совершенно иного характера, шедших или существовавших в земных глубинах и из них выходивших в биосферу. Мне кажется, впервые эта мысль была введена в науку оригинальным химиком и минералогом, позже петербургским академиком И. Леманном (1753. Умер в Петербурге в 1763 году—отравился во время взрыва в академической химической лаборатории). Он впервые указал, что вещество жил пришло снизу и связано с строением глубоких слоев земной коры или планеты. Это строение представлялось ему далеким от тех идей, к которым сейчас наука приходит. Впервые получила точное выражение—в годы, когда выяснилась идея о химическом элементе и о растворе—другая сторона явления: роль вод биосферы в горячих восходящих водах, роль, стоящая в нашем современном представлении на втором месте. Ей придавал первостепенное значение в самом конце XVIII в. и опубликовал свои идеи—результат двенадцатилетнего наблюдения и размышления—в 1791 г. Г. Вернер (1750—1817). Вернер оказал огромное влияние: водное происхождение минеральных жил из своеобразных водных

¹ Работы Агриколы напечатаны в 1530—1549 годах, Бирингуччио посмертно в 1540 г.

растворов вошло уже при нем прочно в научную мысль. Его понимание далеко от современного. Вернер связывал все явления исключительно с водой поверхностной, холодной водой биосферы. Но все же значение Вернера и непунистов в этой области было благотворно: были установлены новое, огромной важности, явление, связанное с водой, и существование нового типа вод, обычно отсутствующих в биосфере.

Уже в первой половине XIX столетия проблемы были прочно поставлены (§ 421).

Очевидно однако, что гидрохимия могла получить прочную основу для их решения только после того, как были установлены столетней работой представления о химическом элементе и об элементарном химическом анализе и когда была разгадана химическая природа воды, вплоть до конца XVIII столетия считавшейся простым телом, „элементом“, строящим природу.

413. Состав воды был окончательно выяснен в 1781—1783 г., при чем, как это часто бывает, несколько человек более или менее независимо подошли к одному решению. В 1781 г. Г. Кавендиш (H. Cavendish. 1781—1810) показал, что при соединении водорода и кислорода, которые он представлял себе иначе, чем мы, образуется вода; Лавуазье (A. Lavoisier. 1743—1794) этот опыт не удался, но ему удалось доказать, что при разложении воды металлическим железом образуется H_2 и Fe_2O_3 (1781). В 1783 году опыт разложения воды был сделан им более точно. В этом же году рядом блестящих опытов был установлен тот же факт — состава воды из кислорода и водорода в определенных количествах — третьим великим натуралистом Д. Уаттом (J. Watt. 1736—1819), которому человечество обязано основным решением проблемы паровой машины.

Участие этих трех великих натуралистов в выяснении состава воды бесспорно, и трудно сейчас с несомненностью установить долю каждого из них в этом великом открытии, фактически создавшем новую химию и перевернувшем все наши представления о Космосе.

Уже при их жизни начались споры о приоритете, временами страстные и не беспристрастные. Несомненна однако самостоятельная работа мысли каждого из них, хотя каждый из них — прямо или косвенно — узнавал о работе другого. Историки науки до сих пор не выяснили всех частных открытий. Их изыскания могут иметь однако лишь психологический интерес. Вопрос о приоритете в науке, в научном открытии, конечно, не является мелочью, как не является мелочью точное и возможно бесспорное установление любого научного факта в любой отрасли знания, но он важен только с определенной точки зрения, которая выходит за пределы моих интересов в этом историческом очерке.

Важно для понимания хода мысли то, что одновременно, в общем вне постоянного общения или вообще не сносаясь в работе, три величайших экспериментатора одновременно решили одну и ту же основную задачу и что их открытие немедленно и бесповоротно вошло в научное сознание и было проверено.¹

Наибольшие нападки на полную самостоятельность открытия в первой фазе работы — выпали на долю А. Лавуазье. Но именно он наиболее широко и наиболее глубоко понял все его значение. Именно его идеи легли в основу гидрохимии. Ни Уатт, ни Кавендиш и никто из со-

¹ Отдельные, даже крупные ученые десятки лет после его открытия не признавали разложения воды, например J. Deluc (ум. 1817) до самой своей смерти оставался при старых воззрениях (W. Harrison). В истории наших знаний о природных водах однако его работа имеет значение (§ 482). Не признавал до смерти сложности воды и Ламарк (1829), и J. Пристлей (ум. в 1804 г.), который еще в 1801 году напечатал специальное сочинение, посвященное опровержению факта разложения воды.

временников не мог или не пошел так далеко по открывшемуся новому пути, как пошел Лавуазье. Работа его в самом разгаре была прервана его казнью, и его смерть замедлила на десятки лет научную работу в этой области. Лавуазье больше чем кто нибудь в это время понимал значение воды в природе и долгие годы работал над ее химическим составом и ее природной химией: еще в 1770 г. он окончательно разрушил ошибочное, веками длившееся, представление о возможности превращения ее в „земли“ и тем подготовил почву к правильному пониманию в земной коре явлений растворения.

Он же теснейшим образом связал химию природной воды с явлениями жизни — ему уже был ясен процесс ее разложения в живом веществе, переход водорода и кислорода в органические соединения (§ 326). Он ясно видел и существование в природе разложения ее молекул — так же, как и углекислоты, и ее синтез при процессах горения кислородно-водородистых органических тел, при дыхании и питании организмов.

Наконец он же, отбросив теорию флогистона, ввел в науку представление о физических состояниях вещества, о газообразном, жидком и твердом состояниях воды. Это основа всех наших представлений об истории природных вод.

414. Конец XVIII столетия, наряду с выяснением состава воды и ее положения в химии планеты, выяснил и другое основное условие ее нахождения в земной коре — характер Океана, как земной оболочки, как гидросферы.

Еще при жизни Р. Бойля (§ 409) его младший современник, рано умерший Б. Варениус (B. Varen, ум. 1660) дал в труде, изданном при участии И. Ньютона после его смерти (1664), первый научный очерк гидрографии морей; позже в начале XVIII столетия (1711—1725) гр. Л. Марсильи в истории Средиземного моря дал первую точную попытку океанографической работы.

Но только в конце XVIII века начинает выявляться картина явлений во всей их мощности.

В это время теснейшим образом связалась с научной работой вековая работа над выяснением лика Земли, распределения на ней океанов и форм суши. Поставлена она была еще в XIII веке — ее ясно ставил как реальную задачу Р. Бекон (1214—1292). Но ее решили в первом приближении великие кругосветные путешествия XV—XVII столетий. Португалец Магеллан совершил первый круговой переход в пределах гидросферы (F. Magellan. 1480—1521. Путешествие 1505—1512).

В путешествиях конца XVIII века, окончательно выявивших картину Всемирного Океана, принимали участие крупные ученые. Усовершенствование хронометров Ле Руа (J. B. Le Roy, ум. 1800), Берту (Bertoud) и др. в 1764—1767 годах позволили дать точные карты их открытий.

Особое значение имели три больших путешествия точного гидрографа и путешественника Д. Кука (1768—1779), отчеты о которых немедленно были опубликованы и в которых принимали участие такие натуралисты, как J. Банкс (ум. в 1820), отец и сын Форстеры (J. R. Forster, ум. в 1798 г. и J. G. Forster, ум. в 1794 г.), К концу столетия французский гидрограф гр. К. Кларе де Флерье в обработке путешествия Э. Маршана (ум. в 1793 г.) ввел понятие единого Всемирного Океана — т. е. гидросферы — и точно определил диссимметрию в его расположении в биосфере (§ 78). По отношению к так понимаемому — Всемирному единому Океану в течение всего XVIII и в первой половине XIX века начал выясняться его химический характер — газовый состав (§ 425), соляной состав (§ 416), распределение жизни в связи с глубиной, отложение осадков — вся его история (§ 439 сл.).

415. С Лавуазье дальнейшее развитие гидрохимии шло уже в рамках новых химических воззрений и, с одной стороны, зависело от наших

представлений о растворах, с другой,—было связано с выяснением свойств и состава природной воды, характер которой, как водных растворов, стал к этому времени совершенно ясен.

Раствор представлялся к этому времени то как своеобразная форма химического соединения, и эти взгляды были глубоко развиты в конце XVIII, в самом начале XIX столетия Бертолле (C. L. Berthollet. 1748 — 1822), то рассматривался как физический процесс, отличный от химического.

Отличие раствора от обычных химических соединений было известно химикам уже давно — уже М. В. Ломоносов (1745) и А. Лавуазье (1789) отмечали проявление этого различия в термическом эффекте — в выделении тепла при образовании химических соединений, в поглощении тепла при создании растворов.

Но только в XIX веке понятие раствора и его отличие от обычного химического соединения стало ясным. С одной стороны, атомистические представления охватили химию. Идеи В. Гиггинса (1789 след.), Уолластона (1808 сл.) и В. Дальтона (1807 сл.) положили прочное основание современной химии и выяснили определенные химические соединения.

Стоя на этой почве, в критике работ Бертолле, развивая их, В. Прут (1815) установил растворы, неопределенные химические соединения, в отличие от остальных химических тел. В этих представлениях получило свое место и явление гидратов, понятие о которых было выявлено Ж. Л. Пру (J. Proust. 1800) раньше вхождения атомной теории и тогда же экспериментально подтверждено Р. Шеневи (P. Chenevix. 1804).

Возвращение сейчас к старым идеям Бертолле в до дальтоновском периоде истории химии, в идеях, развиваемых Н. С. Курнаковым и его сотрудниками в физико-химическом анализе, в общем синтезе связывающих растворы и определенные соединения, позволяет объяснить существующее различие, как неизбежное проявление единого явления (§ 455).

Современное представление о растворе выросло в значительной мере на изучении природных явлений — на наблюдении — не только на опытной работе лабораторий.

Бертолле изучал самосадочные озера Египта (§ 418): морская вода и минеральные воды занимали в это время в химической мысли гораздо большее место, чем эти проблемы занимают сейчас в разросшейся группе химических дисциплин.

На фоне понятия о растворе, как только он был сформирован в новой дальтоновской химии — с ее кратными отношениями, — в течение десятилетий собирался и систематизировался огромный природный материал. Систематически анализировалась всякая вода, в действительности огромная своеобразная область разнообразнейших природных растворов.

416. В первой четверти XIX века начали в связи с этим выясняться основные черты химии морей и океанов — гидросферы.

Изучались прежде всего моря и океаны, прилегающие к Европе, — Атлантический океан около Англии, Франции, Испании, моря Балтийское и Средиземное. Первый, кажется, Т. Бергман в Швеции (1777) дал ясную картину химического состава морской воды. Представление о постоянстве ее соляного состава, уже отмеченное Р. Бойлем (§ 409), получало постепенно подтверждение и проникало в научную мысль.

К нему подошли Лавуазье, деятельность которого была так безумно прервана (1793), позже, повидимому, Т. Томсон (1812). В 1813 г. опубликован ряд новых данных Г. Фогелем (G. Vogel. 1778 — 1867). Около этого времени начались по идее С. Теннанта (S. Tennant. 1761 — 1815) систематические исследования его и Марсе, опубликованные в 1817 — 1822 гг. в работе, прерванной смертью пережившего Теннанта А. Марсе (A. Marcet. 1770 — 1822). Русская кругосветная экспедиция (1823 — 1826)

О. фон Коцебу (1787—1846) на корабле „Предприятие“ обратила на это внимание по указанию Петербургской Академии Наук, и в 1829 г. физик экспедиции Э. К. Ленц (1804—1867) опубликовал данные, указавшие на постоянство солевого остатка для глубинных вод Океана и слабые колебания для поверхностных. Он первый построил батометр (1826).

Но лишь долголетняя работа датского ученого И. Форхгаммера (J. Forchhammer. 1794—1865) вполне установила не только постоянство концентрации, но и постоянство состава солевого остатка морской воды, вернее его малую изменчивость (1849—1865). Это было первое большое эмпирическое обобщение в этой области.

Еще раньше, во время первого русского кругосветного путешествия (1803—1808) И. Ф. фон Крузенштерна (1770—1846), швейцарским натуралистом И. Горнером (J. Horner. 1774—1834) была установлена другая постоянная морской воды—низкая температура дна и ее постоянство.

Наблюдения Ленца в следующую русскую кругосветную экспедицию подтвердили и установили этот вывод—благодаря усовершенствованию им термометра—до глубины в два километра.

Русские наблюдения вплоть до конца XIX столетия занимали видное место в понимании физики моря. К сожалению в середине столетия исследование океана в мировом масштабе заглохло в нашей стране.

Это крупное достижение русских экспедиций Крузенштерна („Надежда“ и „Нева“) вошло в научное сознание только после экспедиции Чалленджера; еще в 1873 году Уайвиль Томсон (§ 440) высказывал сомнение о низкой средней температуре океана (порядка 4°C). Число—3,5—4,0°C, установленное для средней температуры разных океанов О. Крюмелем (1907), является одной из важнейших констант планеты.

Значение этой величины в биосфере начинает выясняться только теперь. Океанская вода лежит целиком в поле устойчивости жидкой CO₂ (Вернадский. 1931). Ее низкая температура издавна и обычно объясняется перемещением поверхностных холодных масс приполярных вод в вековом движении—в глубины.

Эта теория была математически обработана Цеппритцем (1878) и вошла в господствующие представления.

Мы увидим во второй части книги, что она не отвечает фактам; есть более глубокие причины. Почти весь океан принадлежит к холодной области биосферы. Эта область распространяется и на сушу. Причину ее образования надо искать там же, где мы ищем причину высокой температуры земли—в распределении источника земной теплоты—радиоактивных элементов.

Позже Э. фон Бибра (E. v. Bibra. 1806—1878) впервые отметил в 1851 году щелочность морской воды—наблюдение, долго не обращавшее на себя внимание, вновь введенное в научную мысль Торное (H. Torne. 1856—1907) в 1880 году, а в XX веке явившееся основным признаком морской воды, позволившим углубиться в ее сложный химический и биохимический механизм.

Еще один основной вопрос—о постоянстве состава в течение геологического времени гидросферы, океанической воды—получил в 1880-х годах впервые научную установку. Л. Дьелафэ пытался доказать это постоянство на основании точных наблюдений. Работа его не была продолжена, вопрос еще не решен, но сейчас нельзя не считаться с приведенными Л. Дьелафэ, и позже другими, доводами. Надо признать, что начало решению положено им.

417. В XIX веке, в первой его половине, были выработаны основы современного химического анализа вод. Это было достигнуто работой поколений; методы анализа идут вглубь XVII века (Р. Бойль) (§ 410), но лишь после Лавуазье начались крупные достижения; приблизительно

после 1830—1850 годов мы начали получать числа, которые сохраняются и в современной науке.

В методике анализов и в изучении химии вод видную роль играют и русские ученые и русские воды. Анализ уточнился на изучении наиболее разнообразных вод—минеральных, —и уже более 100 лет назад (1820) петербургский академик А. Н. Шерер (1783—1835) мог дать связную картину, в том числе и химическую, минеральных вод России—результат почти столетней работы.

Правда, через 20—30 лет после этой сводки Шерера химия минеральных вод резко изменилась. Большое значение имела специальная лаборатория Фрезениуса, основанная в 1848 г. в Висбадене и специально приспособленная к анализу вод. Эта лаборатория неуклонно работает и ныне—под руководством третьего поколения Фрезениусов (С. К. Fresenius. 1818—1897, R. H. Fresenius. 1847—1920, P. W. Fresenius).

С этого времени—через весь век—тянется огромная работа собирания химических данных о природных водах, вызванная потребностями жизни, главным образом здоровья людей.

Если из этого изучения не удалось получить простых закономерностей, как это было сделано для химического состава морской воды, все же получилась картина относительно малого разнообразия состава природных вод, независимости их состава (§ 457) в подавляющей части—от биосферы и возможности путем их изучения проникнуть в фреатические, может быть, ювенильные области планеты.

418. С конца XVIII, с начала XIX века начал накапливаться материал о составе и характере рассольных и соленых озер. С одной стороны, великие экспедиции Петербургской Академии Наук второй половины XVIII века открыли явление самосадочных озер, которое в сколько-нибудь близком масштабе не было доступно наблюдению в пределах тогдашнего западно-европейского культурного мира. Самосадочные озера в Приволжских и Прикаспийских полупустынях, в Крыму, в Западной и в Восточной Сибири стали тысячам научно доступны, получили реальное и практическое значение и позволили делать наблюдения в огромном интервале температур, чуть не в 80—100°, в жару и в холод. С другой стороны, научная экспедиция Наполеона Бонапарте в Египет позволила ближе ознакомиться с картиной самосадочных озер в жарком, подтропическом климате.

И там и здесь сразу были достигнуты важные научные—в России и практические—результаты. Академики Т. Е. Ловиц (1757—1804) и Э. Г. Лаксман (1737—1796), изучая влияние мороза, открыли изменение состава солей при вымораживании. Исходя из изучения этих явлений, Ловиц установил новое явление—пересыщенные растворы. Позже, но еще в XVIII веке, в Египте К. Л. Бертолле (1748—1822) мог в природе, в большом масштабе, проследить явления солевых равновесий (1794) и притти к крупным основным обобщениям. В начале XIX века (1803) в своей „Химической Статике“ он положил основы наших современных представлений как о растворах, так и о тех равновесиях, которые представляют из себя самосадочные и соленые озера.

Влияние этих идей, так же как и работ Т. Ловица, сказалось много позже, через десятки лет (§ 455).

419. В первые годы XIX столетия, в эпоху, когда складывалась новая наука геология, выдвинулось изучение воды как геологического явления, и впервые могло начаться систематическое накопление научных фактов. В течение немногих десятков лет все представления коренным образом изменились.

Одно время природные воды стояли в центре внимания геологов.

Это было время знаменитого спора нептунистов и плутонистов; одни придавали воде решающее значение в истории нашей планеты, другие

отводили его вулканическим процессам, проявлению на земной поверхности высокой температуры глубоких частей планеты. Как часто бывает в истории науки, оказались правы оба течения.

На фоне этих движений мысли впервые в синтезе боннского профессора К. Бишофа (K. Bischof. 1792—1870) выяснилась огромная химическая роль природной воды. В его большой книге о химической геологии (1844—1870) мы имеем сводку ценнейших данных и ярких мыслей, оказавших огромное влияние на всю работу в этой области. Бишоф, бывший плутонистом в первых своих работах в этой области, под влиянием изучения фактов и проверки их в лаборатории, пришел к противоположным заключениям, утверждению которых в науке он много содействовал.

Его книга представляет гидрохимию на геологической основе. Значение воды в процессах плутонических, т. е. связанных с высоким давлением и температурой, с алюмо-кремневыми расплавами и образованными при их застывании вулканическими и плутоническими породами, отходило на второй план в его сводке.

Еще более отходили этого рода проблемы в сводках гидрохимии 1860—1870-х годов немецкой — Лерха (1864) и французской — Лефора (Lefort. 1873).

Оба явления были сведены в 1880 годах (1879—1891) Ю. Ротом в химической геологии и в XX столетии Ф. У. Кларком (F. Wigglesworth Clarke. 1847—1931) в геохимии.

Здесь ярко выявилось значение воды и в вулканических процессах — на поверхности, в биосфере и чисто магматических — при застывании магмы в глубинах земной коры.

420. Роль воды выяснилась прежде всего в вулканических извержениях, в самом механизме этих извержений.

В парах воды стали видеть ту силу, которая является основой в механизме извержения.

Идеи эти ясно сказались уже у точных наблюдателей второй половины XVIII века — у Фожя де Сен Фона (1778. B. Faujas de St. Fond. 1741—1819), Л. Спалланцани (L. Spallanzani. 1729—1799), Г. де Соссюра (H. de Saussure. 1740—1799) и других в начале следующего столетия. Многочисленные наблюдения выявили роль паров воды с несомненностью в отдельных случаях. Она была установлена и показана как общее явление в 1826 году У. Даубени (C. G. Daubeny. 1797—1867) и Д. П. Скропом (Томсоном) (G. P. Scrope. 1797—1876) в независимой работе. Особенно Скроп точно выявил, что водяной пар резко преобладает по массе в колоссальных количествах выделяемых при вулканическом извержении газов.

В 1853 году эти представления о роли водяных паров в вулканических извержениях были введены в сознание геологов Ч. Ляйелем.

Изучение вулканов ясно указало, что их извержение есть результат газового процесса, т. е. прежде всего является проявлением горячих водяных паров биосферы.

Неизбежно явился вопрос, откуда берутся огромные количества воды, выходящие в виде паров во время извержений.

Три источника их обратили на себя внимание и вызвали споры: 1) метеорные воды (это думал Ляйель), 2) морские воды (так как все, как казалось тогда, вулканы находятся вблизи морских берегов) и 3) подземные воды или воды, находившиеся в исходной расплавленной алюмосиликатовой массе (магме), поднятие которой из глубины земной коры вызывает вулканическое извержение.

Как это часто бывает в истории науки, все три мнения, вызывавшие в это время горячие споры, оказались заключающими часть истины (S 464 A). Многие еще здесь остаются неясным.

Вулканические явления оказались таким образом связанными в строении нашей планеты с историей ее воды.

421. Этому признанию очень много способствовало понимание ряда явлений, связанных с высокой температурой более глубоких слоев планеты, отвечавшее распространенным космогоническим представлениям Лапласа и основным с точки зрения теплового режима Земли геофизическим работам Фурье.

Понимание этих явлений привело к выяснению роли воды в выделении минералов, которым долго не решались приписывать водного происхождения, к пониманию водно-жидких горячих расплавов магм, происхождения минеральных жил, как результата водных растворов, и минеральных вод, как явлений, связанных с магмами.

Эти новые понимания истории подземных вод созданы в 1840-х годах, но окончательно вошли в научное сознание в начале нашего века, влияя однако непрерывно и усиливаясь в своем значении в течение 70—80 лет.

Несколько этапов могут быть отмечены. Прежде всего создание синтеза минералов. Опытным путем было доказано выделение из водных растворов ряда соединений, в водном происхождении которых большинство ученых не сомневалось, но получать из растворов не умело. Начало положено работами К. Э. Шафхейтля (1845. К. Е. Schafhäutl. 1803—1890), получившего из водного раствора кристаллы кварца; в ряде синтезов Г. де Сенармон (1850) получил фосфаты, сульфаты и тому подобные аналогичные природным минералам соединения. В 1850-х годах братья Ш. и Г. Сент Клер Деви́ль при нагревании и давлении воспроизвели из водных растворов ряд алюмосиликатов. Водное происхождение огромных групп соединений кремния и алюминия в природе было этим доказано.

В 1840 г. Ф. К. фон Бейст, основываясь на том же Саксонском материале, на котором строил свою теорию Г. Вернер (§ 412), исправил ошибку Вернера и связал металлические жильные образования с глубинными plutonicкими процессами земли: воды, отлагавшие металлы, шли снизу и связаны с минеральными термальными источниками. Это воды восходящие (§ 710).

422. Понятие о магме сложилось в 1842—1847 годах в тесной связи с знаменитым спором нептунистов и плутонистов на частном вопросе о происхождении гранита. Факты, служившие опорой представлению нептунистов о кристаллизации гранита из водных растворов, и другие, на которые опирались плутонисты, о его выделении из алюмосиликатового расплава, привели к понятию о расплаве алюмосиликатов, содержащем несколько процентов воды.

Надо отметить, что уже в 1837 году И. Н. Фукс подчеркнул особенность состава гранитов, его богатство водою по сравнению с другими массивными породами, и через 5 лет в 1842—1847 годах минералог с химическим уклоном Т. Шеерер (T. Scheerer. 1813—1875) на основании изучения гранитов и пегматитовых образований высказал ясно и определенно понятие об огненно-водной гранитной магме. Эта идея одновременно возникала от него независимо и у других (Angelot. 1842).

В 1844 году в глубокой концепции Эли де Бомон в Париже (J. B. Elie de Beaumont. 1798—1874) обобщил, повидимому независимо от Шеерера, то же понятие об огненно-водной магме, связал как минеральные источники, так и жильные месторождения металлов, образовавшиеся гидротермальным путем, с застыванием вне земной поверхности расплавленных магм. Он сопоставил солевую часть минеральных вод с возгонами вулканических извержений и объяснил различие минеральных источников разными исходными магмами и разными условиями их застывания. Открылась связь источников с плутоническими породами. Одновременно исследования первоклассных химиков 1830—1840-х годов И. Буссенго (J. B. Boussingault,

1802—1887) в Ю. Америке и Р. Бунзена (R. Bunsen. 1811—1899) в Исландии дали новый точный материал для познания химии вулканов, охватывавшийся обобщением Э. де Бомона.

Ему же принадлежит окончательное установление основного деления магм и происшедших из них массивных пород на основные и кислые (1847), уже ясное для Де ля Бэша (1834) и вскоре развитое Г. Бунзеном (1851). Это явление имеет огромное значение в истории природных вод. Все выводы из него, даже основные, в этой области до сих пор еще не сделаны.

Э. де Бомон связывал все эти явления с тектоникой земной коры, и уже в 1840-х годах одновременно с тем же знаменитым мемуаром Э. де Бомона о вулканических эманациях (1844) ряд ученых независимо выдвинул указания на тесную зависимость распределения минеральных вод с тектоникой земной коры — с дислокационными линиями. Это указал впервые В. Роджерс (W. Rogers. 1805—1882) в 1843 году для Виргинии, Дюрошэ для Пиринеев (1844), Г. Абих для Кавказа (1856).

Вскоре Р. Бунзен, стоя на почве этих представлений, дал две обобщающих идеи, оказавшиеся чрезвычайно плодотворными для истории природных вод. Не зная о своих предшественниках, гл. обр. Д. Дана (1843), он ввел (1851) понятие пневматолита, химических процессов, вызванных смещением или растворением паров воды (и других газов) в расплавленной или раскаленной алюмосиликатовой магме, и указал на значение при этом давления, меняющего точки плавления и другие физические свойства с глубиной. Эти недоступные нашему синтезу реакции играют огромную роль в окружающей природе.

Лишь в XX веке идеи Бунзена получили дальнейшее углубление и признание. В конце XIX века был собран огромный материал, их подтверждающий и приведший к принятию концепции Эли де Бомона в измененной форме.

423. В начале XIX века, в 1810—1840-х годах, обратили на себя внимание аморфные и коллоидальные тела, богатые водою.

Брейтгаупт и Фукс, особенно первый, охватили их распространение в земной коре и установили их чрезвычайное значение в природных процессах.

Эти минералогические эмпирические обобщения, основанные на научном наблюдении, не обращали на себя внимание ни физиков, ни химиков. Строение этих тел, противопоставляемых кристаллическим минералам, которые охватывались как раз в это время научной мыслью, создававшей кристаллографию, оставалось без исследования.

В 1830—1840-х годах к этим явлениям химии подошли с другой стороны, исходя из научного опыта. Де Бодримон, Сельми, Грэгэм, более или менее независимо друг от друга, впервые ввели понятие о коллоидах, о золях и гелях.

Долгое время, до XX столетия — эти достижения не отражались на наших представлениях о минеральных процессах земной коры. Работы минералогов и химиков были ими охвачены; значение имели эти новые понимания главным образом для биохимических процессов, для понимания строения вещества организмов.

Значение коллоидальных процессов в истории природных вод, которое логически ясно вытекало из этих прочных научных достижений, проявилось только в начале XX века, через 80—90 лет после первых точных эмпирических обобщений (§ 468). Здесь следует отметить еще одну область наблюдений, значение которой не меньше, которая была отмечена в самом начале 1820-х годов и еще до сих пор не получила того внимания, которого заслуживает.

Уже давно коллекционеры знали, что многие минералы содержат включения жидкостей. В 1821 году Г. Дэви, а вскоре затем

Д. Брюстер (D. Brewster. 1781—1868) отметили и распространенность и значение этого явления. Дэви первый указал, что часто это — водные растворы, находящиеся под большим давлением. Область этих явлений только начинает вскрываться перед нами.

В 1858 году Г. Сорби указал на огромную распространенность жидких включений в горных породах и на существование совершенно особых видов вод, им присущих. Он вернулся к этому вопросу в 1869 году. Но, несмотря на ряд новых отдельных работ, никто после него не охватил вопрос в нужном масштабе. Сейчас совершенно ясно, что здесь мы встречаемся с областью природных явлений, остановившейся в своем историческом выявлении (§ 499).

424. К 1840-м годам были окончательно выяснены основы газового режима Океана, и достигнута прочная база для понимания растворимости газов в воде и ее отражения в окружающей природе. После работ Бойля и Бернулли в конце XVII века (§ 406) началось быстрое непрерывное развитие знаний в этой области с конца XVIII века, когда впервые выделены были главные земные газы и установлен состав земной атмосферы.

К концу XVIII века было ясно не только растворение воздуха в надземных водах, но и нахождение в водах газов в ином соотношении, чем в воздухе. Еще раньше Бойля, уже в начале XVII века И. Б. Ван Гельмонт знал, что в минеральном источнике Спа выделяется особый газ „*Spiritus sylvestris*“, тот самый, который выделяется при сгорании угля. В 1772 состав этого газа качественно был установлен А. Лавуазье, а в 1784 он же решил эту задачу количественно.

В 1778 году Пристлей доказал, что из газов воздуха кислород растворяется в воде больше азота, и опираясь на обогащение вод кислородом, он учитывал значение природных вод в реакциях окисления. В 1784 году Пирсон (G. Pearson. 1751—1828) впервые доказал, что Бекстоновский источник в Англии выделяет чистый азот и лишен кислорода. Общность явления для более глубоких вод — как вод пластовых, так и для минеральных источников — была выяснена десятки лет позже. Отдельные наблюдения в конце XVIII, начале XIX века были делаемы для разных источников Англии, Франции, Германии. В 1821—1822 году профессор в Монпелье И. Англада (J. Anglada. 1775—1833) указал на общность этого явления для сероводородных минеральных источников и думал связать его с генезисом этих источников.

Случайное наблюдение Пелиго в 1852 г. над новой артезианской скважиной в Париже (в Гренеле) с глубины 547 м указало, что это явление иного характера, не связанное ни с минеральными источниками, ни с минеральными водами. Газы вод скважины состояли из азота и главным образом из углекислоты. В 1872 году А. Жерарден (A. Gerardin) указал на общность этого явления и исчезновение кислорода для вод, идущих с глубины 60—115 метров и даже с 15 метров в разных местах Франции. К сожалению эти работы не получили дальнейшего развития, и важный вопрос остался по существу неизученным до сих пор (§ 567 сл.).

425. В 1805 году А. фон Гумбольдт (A. v. Humboldt. 1769—1859) и Л. Гэй Люссак (L. Gay Lussac. 1778—1850) установили разную растворимость кислорода в пресной и в соленых водах и впервые определили количественно содержание газов в речной воде — в Сене.

В 1837 году Фреми (E. Fremy. 1814—1894) подошел к количественному выяснению газового режима Океана, завершив этим решение задачи, поставленной Р. Бойлем в 1670 году (§ 409).

Газовый режим Океана был на Средиземном море выяснен в глубоких работах рано умершего молодого французского ученого Г. Эме (G. Aimé. 1813—1846) в 1843—1845 годах. Эме впервые ярко выяснил весь механизм явления: Океан получает газы — в главной и основной их части —

из воздуха, и этим путем проникается газами вся толща Океана до его дна, в среднем мощностью до 3,8 километров, часто до 6 и глубже, и в отдельных случаях до 10 километров. На всем этом протяжении давление, под которым находятся растворенные газы, сообщаемые с атмосферой, определяется не давлением слоев воды, достигающим тысячи атмосфер, а давлением пронизывающей толщу Океана собственной газообразной атмосферы (водной атмосферы), отвечающей в конце концов давлению немногих атмосфер. Работы Эме были забыты, и в 1873 году вновь механизм был выяснен Я. Якобсеном (O. Jacobsen), а уже в XX веке, в 1907 году, получены точные числа К. Фоксом (C. Fox) в связи с работой международной ассоциации для исследования морей, сейчас принятые как исходное для наших суждений.

Другой вывод из исследований Эме был оставлен без внимания.

В Океане (и очевидно в природных водах вообще) мы имеем дело с случаем, отсутствующим в наших опытных работах. В природных водах газ и вода, тесно смешанные, находятся под разным давлением: вода может находиться под давлением в тысячу атмосфер, равномерно ее проникающий газ — под давлением двух-трех атмосфер. Этот вывод принят впервые в общем виде в этой книге.

426. Надо отметить одно наблюдение, сделанное Якобсеном (1873), позже количественно изученное М. Кнюдсоном и Остенфельдом (1896), которое вскрыло новый фактор, меняющий растворимость газов в природных водах, — влияние жизни.

Якобсен доказал существование участков океана, переполненных жизнью, в несколько раз более богатых газами — кислородом и азотом, — чем это устанавливается физическими законами растворения. Он правильно указал причину в развитии хлорофильной и бактериальной жизни и установил явление, значение которого становится все большим и большим по мере изучения газового режима природных вод.

Мы теперь видим, что здесь были установлены новые явления в истории природных вод, не скоро понятые.

Было установлено не только влияние жизни на газовый раствор — общее для всех вод, но и особое состояние их газовых компонентов.

Для водоемов суши — для пресных вод — это было доказано еще раньше, впервые в Бельгии А. и Ш. Морранами (A. и Ch. Morren) в 1841 году. В небольших прудах и озерах газовый режим еще резче меняется жизнью и сейчас изучен глубже в этом отношении, чем режим океана.

Работы Морранов и Якобсена указали и на форму газовых компонентов, создаваемых жизнью; это не только растворенные газы, но и газовые пузыри, газовые тончайшие эмульсии (§ 221 и сл.), что впрочем ими не было отмечено.

427. Роль организмов выявилась в 1840-х годах и в другом природном большом процессе — в разложении и синтезе воды. Это было экспериментально доказано блестящими опытами Буссенго вскоре после того, как Берцелиус (J. Berzelius, 1779—1848), считая это явление весьма вероятным, сомневался в возможности его опытного доказательства. Буссенго доказал разложение воды — с выделением кислорода — в зеленых растительных организмах, и та же вода вновь воссоздается сгоранием углеводов в животных организмах — их дыханием (§ 327). В „Опыте статики организованных существ“ (1844) Буссенго и Дюма (J. B. Dumas, 1800—1884) охватили это явление в блестящем синтезе, выявив его огромное планетное значение.

Их обобщения явно приводили к представлению об известной организованности биосферы, в которой природные воды играют такую исключительную роль. В это время они толковались иначе — телеологи-

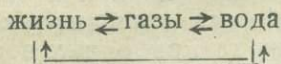
чески — в связи с тем своеобразным и глубоким течением главным образом английской мысли, которое стремилось к созданию естественной теологии. Исходя из этих построений, в 1833 году английский крупный философ и историк науки В. Уэвелль (W. Whewell) выдвинул особую „приспособленность“ воды по ее свойствам для жизни среди всех известных химических соединений, обобщил при этом очень большое количество эмпирических фактов в строении биосферы, понятия о которой в это время еще не было. Уже в XX веке, в 1912 году, это обобщение получило новое глубокое выражение в работах американского физиолога Л. Гендерсона, освободившись от натурфилософских и религиозных толкований, и вошло в науку как эмпирическое обобщение.

В дальнейшем изложении мы на каждом шагу увидим правильность явления, отмеченного старинными натуралистами, то связывавшими его с теологическими представлениями (естественная теология англосаксов), то с гармонией и порядком Природы. Мы имеем здесь проявление организованности нашей планеты, доступное эмпирическому изучению.

428. Роль жизни в химии природных вод оказалась еще более значительной и более всеобъемлющей, чем те синтезы и разложения молекул воды, которые ею производятся и которые приводят как к созданию живого органического вещества, так и к выделению свободного кислорода, определяющего окружающую нас природу.

Вся химия природных вод, в том числе и Океана, обусловлена в своих основных чертах жизнью, прежде всего ее метаболизмом.

Изучение режима газов, развивавшееся со второй половины XIX столетия, указало огромное влияние жизни на этот режим. Каждый новый бассейн оказался системой:



В мелких бассейнах это явление выражено более резко, чем в крупных, но оно наблюдается и в Океане.

Сознание огромного значения жизни сложилось незаметно, простым накоплением разнообразных фактов. Особенно изучение Океана, озер и прудов выдвинуло его к концу XIX века.

Среди этих исследований надо отметить три новых в конце концов явления, которые изменили наше понимание природных вод.

В первой четверти XIX столетия для понимания геологического значения вод и водной жизни имели огромное значение работы Х. Эренберга (Ehrenberg. 1795—1876). Он вновь возбудил внимание — после XVII века — к миру микроскопических организмов, выявил новые черты их строения и жизни, их геологическое значение и роль в Океане и в других водоемах. Эренберг в ряде работ на протяжении больше 50 лет дал огромное количество новых наблюдений, выявил широкое создание микроорганизмами горных пород на протяжении всей геологической истории, обратил внимание на их значение в современных водоемах, на планктон, на создание ими свечения моря.

Еще при его жизни открылся новый мир еще более мелких организмов. Создание учения о микробах, после работ Л. Пастера, резко изменило все наше представление о химических процессах воды. И здесь совершенно постепенно, мало заметно совершился переход старых представлений в совсем новые формы.

429. Бактериальный мир, который этим путем открылся, изменил все наши представления о газовом режиме вод. Особое значение имело открытие живущих в водах (в частности в морях) азотных бактерий (А. Смит и Ф. Шлезинг. 1867—1868), значение которых было выявлено К. Брандтом (1902), бактерий, связывающих азот (Бейеринк.

1901, Бенеке и К. Кейтнер. 1903); бактерий, восстанавливающих сульфаты до H_2S и окисляющих сероводород — процесс, основные черты которого были выяснены С. Н. Виноградским. Сейчас, по мере изучения этих явлений, значение бактериальных процессов в структуре природных вод все увеличивается в нашем сознании. Но мы еще очень далеки от полного его охвата. Химический состав бактерий нам до сих пор неизвестен. Большое значение имеет новый метод количественного учета бактерий, данный в 1928 году Н. Г. Холодным. Применение этого метода показало, что прозрачная вода некоторых водоемов может заключать проценты по весу бактерий (ср. § 69).

Не меньшее, если не большее, значение имеет выявление планктона в водных бассейнах. Он был впервые установлен Иоганном Мюллером в 1845 году, направившим на его изучение ряд своих талантливых учеников. Это был морской планктон. Экспедиция Чалленджера (§ 440—442) и особенно работы В. Гансена, выявившего основное свойство планктона — равномерное однородное распространение организмов в определенных областях обогащения ими и введшего количественные методы учета, вызвавшего специальные организации (1870—1880—1889) морских экспедиций, для планктона поставили работу на правильную почву.

Сейчас вскрылись перед нами определенные, постоянно существующие концентрации — пленки живого вещества закономерным образом проникающие все наземные водные бассейны и надо думать верховодки. Это места концентрации биохимических процессов. Планктонная пленка — одна из ряда таких образований (Вернадский. 1926). Она является проявлением организованности биосферы.

430. В XIX столетии шло выяснение состава поверхностных вод, выработка методов анализа и накопление большого числа количественных данных. Эта работа уже во второй половине века достигла расцвета и стала организованной.

Эта огромная работа привела в конце концов к установлению ясного представления о химии наземных вод суши — рек и озер, — вод гидросферы и отчасти подземных пластовых вод биосферы и стратисферы.

В общем химическая сторона явления этих вод не отстала от динамического их изучения: одновременно шедшего выяснения их количества, залегания, давления.

Не то было для вод метеорных. Для них с XVIII столетия, а особенно в XIX были достигнуты ясные точные представления о динамике явления.

Химия этих вод, прежде всего интересующая минералога, чрезвычайно отстала, и до сих пор ее изучение заброшено.

Химические исследования дождевых и снежных вод начались систематически уже в самом начале XIX столетия, сперва в Германии — Р. Брандесом (1795—1842) и В. Циммерманом (1780—1825). Эти работы вскоре остановились без ясных результатов.

В 1830—1850-х годах, в связи с вопросами земледелия, возбудил большой интерес химический состав дождя и снега — в частном его проявлении в круговороте азота. Началось исследование содержания азота, его количества и форм его соединений в дождевых водах и в снеге — главным образом среди французских ученых, под влиянием идей Буссенго и Либиха.

Барраль (J. Barral. 1819—1887), Бино (A. Bineau. 1812—1861) и другие собрали большой многолетний материал, который выяснил важную особенность метеорных вод — относительное богатство их соединениями азота. А. Мюнтц позже доказал (1877—1878) интенсивность связывания азота и обогащение его соединениями осадков тропических стран.

Но все эти исследования не привели к полной картине явления, несмотря на то, что были распространены позже на серу (важны работы

Джилльберта в Англии) и иод (Шатен—(Chatin) в 1850-х годах). Узкая постановка проблемы—в применении к земледелию, в связи с идеями Либиха и Буссенго об азотистом питании растений, и к медицине, в связи с распространением зоба—не привела к точному химическому познанию метеорных вод, полного анализа которых не существует и до сих пор. Химия атмосферы едва затронута сейчас в истории ее важнейшего объекта—состава паров и сжижений воды.

431. Если химия атмосферы находится в таком заброшенном состоянии, то другая сторона явления—динамика и статика водных частей тропосферы—достигла большого развития. Они начались в XVII—XVIII веках, разрослись в XIX.

К концу XVII столетия—к 1672 году—стало ясным наше представление о земной атмосфере, как о массе разрежающихся с удалением от земной поверхности газов, введенное в науку О. фон Герик (§ 409), в 1640—1650-х годах опытным путем пришедшего к этому представлению, которое он сперва распространял в публичных опытных демонстрациях и в переписке. Он же ясно выявил зависимость испарения воды, упругости ее паров—в связи с давлением и зависимость и этого проявления в природе от земного притяжения. В 1902 году Тэйссеран де Бор и Ассманн выявили существование тропосферы и стратосферы в наружной земной атмосфере.

В XIX в. выросли новые отрасли знания—метеорология и климатология, которые дали возможность количественно учесть как распределение водяных паров, туч, метеорных осадков, так и разные их количества в разных областях биосферы. К началу XX в. оказалось возможным дать полный учет передвижения водяных паров и метеорных осадков во всей биосфере. Работы Э. Брюкнера, А. И. Воейкова, в последнее время проф. Мейнардуса позволили свести эти данные в числовые итоги.

Долголетние плювиометрические наблюдения были обработаны Саймонсом и уже в 1871 г. позволили ему утверждать, что никаких изменений кроме колебаний в этих явлениях заметить нельзя.

Работа последних 60 лет подтвердила вывод Саймонса.

432. Для рек начало точных знаний относится к 1840—1850 годам, к работам французских ученых, изучивших состав рек Франции и давших методику работы,—сперва Г. Сент Клер Девиля в 1848 году (H. Sainte Claire Deville. 1818—1881), потом Пелиго (E. Peligot. 1811—1890). Особое значение получили работы систематические, которые или охватывали большие районы или же велись в течение десятков лет одним и тем же лицом, достигавшим этим путем большой точности и доставлявшим хорошо сравнимый материал.

Я уже говорил о лаборатории Фрезениусов, давших огромный точный материал не только по минеральным источникам Германии,¹ но и уточнивших методику анализа поверхностных вод. Таковы же систематические работы над водами Чехии—И. Ганнамана (1894—1898), долголетние точные работы К. Шмидта в Юрьеве (Дерпте; 1822—1894) над разнообразнейшими водами России (1859—1891). Для рек выделяется работа северо-американских химиков Р. Доля (1903—1917) и Ф. Клерка, сумевших в относительно короткий срок собрать и обработать огромный материал. Уже в 1909 г. Доль имел в своем распоряжении более 2000 анализов, сделанных по определенному плану целым рядом прекрасных гидрохимиков (Van Winckle и др.).

Центр работ находился и находится в Геологическом Комитете в Вашингтоне, во главе химической работы которого стоял Ф. Клерк,

¹ Из русских аналитиков необходимо здесь отметить долголетнюю работу на Кавказе в Пятигорске и Тифлисе (Фомин и др.)—начиная с середины XIX столетия. Они собрали ряд точных фактов, но здесь не было той методологической работы, какая шла в Висбадене.

но она в широкой мере охватила все штаты, прежде всего в связи со стремлениями общественной гигиены: получения здоровой воды.

Но эта работа позволила поставить новые большие задачи и уточнить решение раньше поставленных, благодаря чрезвычайно расширившемуся количеству достоверных анализов и особенно благодаря правильной методике в выборе образцов для анализа.

Работа все продолжается, и сводка ее, вышедшая в 1923 году, дает возможность и видеть недочеты и выставить новые требования.¹

Очевидно, прежде всего она должна охватить всю биосферу, всю сушу. В нашей стране выделяются — методологически — работы, широко задуманные, но прерванные войной, по исследованию рек Туркестана В. Г. Глушкова и К. Киселева (1910—1915).

По этим путям должна сейчас направиться, и отчасти направляется, работа бесчисленных химиков в разных странах.

В частности у нас восстановление работ В. Глушкова в Туркестане и распространение тех же методов с необходимыми улучшениями на всю нашу страну — является одной из очередных задач и научной и практической жизни.

433. Изучение химического состава рек, в охвате Доля и Клерка, позволяет прежде всего количественно подойти к решению основных проблем в энергетике и динамике суши, которые были поставлены уже в XVII веке, к вопросам о химическом и механическом сносе суши деятельностью рек и о создании морской воды.

Эти вопросы благодаря главным образом работе английских ученых — получили количественные решения еще до начала работ Доля и Клерка. В частности Меррей (1887) точно поставил вопросы и дал количественную их оценку на основании раньше бывшего материала. Новые данные Клерка (последний раз в 1924 г.) внесли серьезные поправки.

434. Уже Меррей (V. Murrey) поставил задачей количественно выразить средний химический (элементарный) состав речной воды. Эта задача была принята во внимание, как основная, Долем и Клерком. Их усилиями установлена необходимая для этого методика. К этому вопросу я вернусь ниже (§ 615).

Средний состав речной воды должен быть постоянным, ибо он выражает неизменную в общем своем проявлении деятельность растворения в биосфере. Однако он отнюдь не выявляется так реально, как это выражается неизменным средним составом Океана. Постоянство солевого состава Океана (§ 733) неизбежно требует постоянства в геологическом времени речной (и метеорной) воды; но реально в разных местностях колебания состава речной воды являются несравненно большими, чем колебания воды океанической.

Все же годовой состав воды реки является величиной постоянной, для каждой из них характерной. Годовой состав всей совокупности речных вод есть важная планетная константа, в основных чертах установленная Клерком.

Клерк выяснил и постоянство среднего годового состава всех рек, совпадающее с составом большой реки, протекающей через большие пространства, климатически различные, и два типа речных вод, ясно выявляющихся в реках меньшей мощности (§ 619).

Сейчас ставится на очередь вопрос о постоянстве состава речных вод в историческое время, особенно в связи с изменением лика биосферы благодаря культурной жизни человечества.

Здесь сделано очень мало: практически научная задача не оставлена

¹ Во всех исчислениях необходимо принять во внимание газы, оставленные без внимания американскими химиками, и внести соответствующую поправку. Необходимо расширить количество изучаемых элементов.

Не фиксирована она и в другом направлении — в значении рек для переноса органического вещества — создания жизни в биосфере. Богатые органическим веществом черные и бурые пресные реки давно отмечены, как характерные черты географического ландшафта. Они преобладают в двух частях биосферы — в области тропических влажных местностей и в приполярных странах. Впервые встретился — вернее обратил на них внимание и отметил их в тропиках в 1541 году Ф. де Ореллана, первый исследователь Амазонки, открывший Черную реку (Rio Negro), где своеобразие этих вод выражено исключительно резко; на общее значение этих темноводных рек тропиков обратил внимание впервые А. Ф. Гумбольдт через 250 лет позже. Они почти также мало химически исследованы сейчас, как были при Гумбольдте. Черные реки Севера, частью вблизи культурных стран, известны давно, но единственная большая работа (для Финляндских рек) О. Аскана (1896) остается без дальнейшего продолжения.

Химическое изучение вод этих рек в виду их огромного геохимического значения настоятельно необходимо.

435. Во второй половине XIX века сложилось изучение озер, главным образом пресных. В них сосредоточена почти половина, если не половина, пресной воды суши. Новая наука — лимнология — быстро развилась в связи с изучением явлений жизни и практических в связи с ней приложений. Можно отметить, что большую роль сыграла работа Ф. Фореля (F. Forel. 1841—1912), оригинального и глубокого швейцарского натуралиста, посвященная Женевскому озеру (1860, 1895—1901 — монография *Le Lemán*). Он дал методику, руководящие идеи, поставил проблемы, быстро обратив на них внимание исследователей.

Исследование вод суши пошло организованно в полном контакте с работой в разных местах; темп работы увеличился в XX веке. Новое, что было внесено, — это создание специальных стационарных станций, в которых на первое место выступило исследование явлений жизни в связи с изучением ее среды, т. е. изучение озера, его воды в первую очередь. Такая лимнологическая станция в пределах нашей страны была создана (Н. Зограф) впервые в 1891 году на оз. Глубоком в Московском районе. К XX веку движение в этом направлении получило большое развитие, и в 1900 году создана первая речная станция на Волге, в Саратове; позже — станции на соленых озерах. Сухопутные биологические станции стали исследовать поверхностные воды. Наряду с лимнологией создались аналогичные дисциплины (потамология — наука о реках и т. д.).

Химическое изучение приобрело здесь огромное значение и привело к накоплению большого числа фактов как химических анализов воды, так и ее газового режима и количественного учета фауны и флоры.

К сожалению, полный учет истории озер сейчас не может быть сделан из-за отсутствия химических анализов их населения и количественного исчисления биогенной миграции химических элементов. В этом отношении заслуживает внимания организация изучения озер Висконсина (G. Birge и C. Juday, с 1911 года), открывшая новые пути.

Изучение соленых озер — и озер рассольных — шло иным путем и выявляет другие очень интересные закономерности гидрохимии (§ 455).

436. Периодические изменения резко выступают в замкнутых бассейнах — в озерах, пресных и соленых. Под влиянием сезонных изменений не только меняется в последних концентрация раствора, но и его состав, так как резко выкристаллизовываются разные химические соединения, меняются отношения K/Na , Ca/Na и т. п. Это выражено особенно резко для рассолов.

Для пресных озер, кроме сезонных, есть изменения, связанные с большими периодическими изменениями климата. Так И. М. Крашенинников

указывает для Челябинских озер изменение состава в связи с Брюкнеровскими 30-летними периодами.

Вероятно есть и более длительные изменения, как это начинает выясняться для почвенных растворов. Но эта область явлений не изучена.

374. Новые количественные методы и искания непрерывно возникали, все усиливаясь с середины XIX столетия.

Так введение спектрального анализа выяснило в 1860-х годах окончательно всюдность и значение следов находящихся в природных водах элементов. Их значение начало еще раньше выясняться изучением минеральных вод химиками-бальнеологами и геологически было правильно учтено К. Бишофом. Теоретически это явление до сих пор далеко не осознано и систематически применялось к водам редко. Выделяются работы Бардэ (1914), приведшие между прочим к выяснению распространенности германия в минеральных водах.

438. Уточнение методов научной работы и распространение количественного изучения окружающей природы сказалось особенно ярко в последней четверти XIX столетия.

Оно привело к тому грандиозному построению нашего знания о Природе, какое в нашем веке выливается в переживаемом взрыве научного понимания окружающего, наблюдаемом в истории человечества лишь единично в тысячелетия.

Все стороны природных вод подверглись систематическому и глубокому научному количественному изучению.

В конце концов оно слилось в единую международную научную работу, организация которой далека от логического совершенства, но постепенно и в значительной мере бессознательно улучшается и укрепляется. Она идет в трех направлениях: во-первых, в установлении коллективной работы, сколь возможно меньше, считаясь с политическими границами государств, во-вторых, в упрочении и в выработке единой методики работы, в рамки которой входит вся индивидуальная и коллективная научная работа, и в-третьих, в организации — индивидуальной или коллективной — быстрого использования всякого вновь найденного где бы то и как бы то ни было научного факта.

Этим путем независимо от гипотез растет наше эмпирическое знание. И прежде всего исследование гидросферы, главной части природной воды — океанографическая работа. В результате такой научно организованной работы с каждым поколением быстро улучшается наше знание об Океане, хотя оно далеко от возможного максимума. Становится все более и более необходимой организация непрерывной систематической международной научно-исследовательской работы над Океаном. Она медленно, но складывается.

439. Вызвана она была потребностями жизни и инициативой крупных людей.

Прежде всего она проявилась в области динамики Океана, в том значении, какое имеют для парусного мореплавания (и первоначального парового) морские течения.

А. Ф. Гумбольдт был первым кажется, который в общей форме выявил значение морских течений для теплового режима тропосферы в области Атлантического океана и прилегающих частей суши — в частности резкого отличия восточных берегов Северной Америки и Гренландии и западных частей тех же широт Европы. Особое внимание обратили исследования английского моряка Э. Сабина, его младшего современника, о связи климата Англии с ходом этих течений [Гольфстрема (1821)]. Становилось ясным, что для понимания погоды надо знать динамику Океана. Она же была необходима и для сокращения времени перехода судов между Европой и Америкой.

На фоне этого понимания, в 1850-х годах было произведено первое организованное международное изучение одного из океанов — Атлантического, — вызванное к жизни энергией, мыслью и инициативой одного человека, американского гидролога М. Ф. Мори [M. F. Maury. 1807—1871], работа которого и ее сводка „Physical geography of the Sea“ (первое издание в 1855 году) переведена была на ряд языков, в том числе и на русский (1864). Мори, одно время бывший директором Вашингтонской морской обсерватории, добился своей цели — улучшить и сократить пути сообщений между Европой и Америкой — выяснив характер морских течений и морских ветров. С 1849 по 1860 год он издавал мореходный атлас, а в 1853 году в Брюсселе по его инициативе созвано международное морское совещание, установившее общий план морских метеорологических наблюдений. В 1854 году сотрудник Мори Брук улучшил лот (§ 416), положив этим начало точному измерению глубин океана, и в том же году Мори дал первую точную карту глубин — глубин Северного Атлантического океана.

440. Следующие широкие организации океанографической работы в конце концов связаны с исключительной по своим результатам английской экспедицией Чалленджера (1872—1876). В ней до конца во главе дела стояли последовательно три выдающихся натуралиста — Уайвилль Томсон (C. W. Thomson. 1838—1872), Мозели (Moseley), Д. Меррей (J. Murray. 1842—1914). Последствия этой экспедиции были огромны, благодаря тому толчку в разработке методики работы, который был создан, и благодаря закончившейся уже в XX веке обработке ее превосходных коллекций.

Экспедиция Чалленджера имела особое значение в изучении жизни моря, в истории биологических знаний, но огромно ее значение и в физике и химии Океана, главным образом по размаху поставленной задачи изучения всего Океана, как единого целого. Главным ее результатом должно считаться подтверждение выводов Форхгаммера о постоянстве солевого остатка морской воды, изучение газового ее состава и выяснение твердых продуктов, морских осадков, в которых принимают участие морская вода и населяющая ее жизнь.

Океан изучался на всем вертикальном протяжении — до дна от поверхности — на протяжении километров.

441. Эта экспедиция была результатом работы поколений. Впервые в Средиземном море гр. Марсильи и Донати (1750) изучали — драгой — глубинные воды. Ирвин (1773) в экспедиции лорда Мергрэва (Murgrave) в арктических морях построил первый аппарат для взятия проб дна. Я уже указывал (§ 414, 416) на значение работ кругосветных путешествий и морских плаваний конца XVIII — начала XIX веков. Эти работы в дальнейшем времени получили огромное развитие прежде всего с точки зрения биологической (ср. планктон — § 429) и организации научной работы.

После работ 1830-х годов Одуэна (Auduin) и Мильн Эдвардса и особенно Сарсов — отца и сына — начались в те же годы и в 1840-м — работы Э. Форбса, шотландского глубокого натуралиста, умершего в полном расцвете сил (1815—1854). Форбс впервые выявил закономерное распределение и смену морских живых форм — биоценозов — с глубиной и он же перенес навыки зоолога в изучение древних морей (1844—1854). Форбс разделял господствующие идеи, что жизнь не идет в морские глубины. В это время допускали еще [напр. крупный натуралист Перон (начало XIX в.), участник кругосветных экспедиций], что морские глубины покрыты слоем льда. Форбс указывал прекращение жизни (нуль жизни) на небольшой глубине — в пределах 500—900 метров, не считаясь и не зная противоположных наблюдений, разбросанных в литературе.

Эти данные уже существовали за несколько десятков лет до Форбса.

Экспедиции отца и сына Россов в океанах южного полушария доказали существование жизни на глубинах до 1000 метров. Могут быть найдены в литературе и другие забытые работы, прежде всего работы Сарсов в Норвегии, не признававших вывода Форбса о безжизненности морских глубин. Ряд отдельных наблюдений подтвердили вывод Россов и Сарсов.

Из этих работ наибольшее значение имела английская „Lightning“ и „Porcupine“ (1868 — 1870), под руководством Карпентера и Уайвилля Томсона. Исходя из данных и опыта этой экспедиции, Томсон явился инициатором экспедиции Чалленджера и смог подобрать необходимый превосходный штат сотрудников.

442. Непрерывный ряд экспедиций идет за последние 60 лет по следам экспедиции Чалленджера, но до сих пор ни одна из них не сравнима с ней по результатам. Но взятые вместе, они дали конечно результаты много большие и подвинули ширишь и вглубь наше знание о жизни и истории Океана и морей на всем протяжении от полюсов до тропиков. В это время улучшалась и техника работы, и шло ее уточнение и углубление. Может быть среди этих работ должны быть отмечены по их последствиям экспедиции А. Агассица „Tuscarora“ и „Albatros“ (1877 — 1905) для тропических морей и князя А. Монако с 1854 года (до 1920). На ряду с этими работами должны быть поставлены работы С. О. Макарова, слабо поддержанные русским правительством. Его кругосветное плавание на корабле „Витязь“ 1886 — 1889 (описание вышло в 1894 г.) дало очень большие научные результаты; они всецело созданы его инициативой и энергией: для научных и гидрологических работ не было отпущено никаких средств и „снаряжений“.

Отдельно надо отличить по ее значению экспедицию Шпиндлера и Н. И. Андрусова (1890 и сл.), открывших в Черном море не только новый вид морской воды подкласса — $N_2 - CO_2 - H_2S$, но и новое огромного значения природное явление — существование сероводородных морских и иловых вод. Мировая война 1914 — 1918 приостановила океанографические и научные работы.

После мировой войны эти работы возобновились в значительной мере под влиянием могущественных интересов практической жизни, но и чисто научные задачи были поставлены в широком масштабе.

Германия, Бельгия, Англия, Соединенные Штаты Америки, Голландия, Франция, Дания двинули исследование океанов. Работы нашего Союза сосредоточены — но расширяются — в прилегающих морях и лишь понемногу начинают выходить в океаны. Но эти экспедиции не могут сравниваться — благодаря недостаточной экипировке — с современными океанографическими исследованиями, несмотря на прекрасный людской персонал. Ряд таких океанографических экспедиций, правильно и мощно оборудованных, как за последние годы с 1928 г. — датская „Дана“, немецкая „Метеор“, английская „Discovery“, американская „Карнеги“, несомненно готовят почву для международной организации океанографических исследований, стоящих на очереди (§ 462).

Надо отметить, что экспедиции „Дана“ и „Карнеги“ установили факт огромного значения в газовом режиме океана — обеднения промежуточных по глубине слоев Тихого и Атлантического океанов подтропических широт свободным кислородом. К значению этого явления я вернусь во второй части.

443. Большие научные океанографические экспедиции привели, во-первых, к улучшению техники научной работы, к чрезвычайному улучшению методики, а с другой стороны — к созданию океанографических станций и музеев.

Об основных приборах и первых их изобретателях говорилось уже не раз (§ 416, 441). Здесь надо только указать на морские термометры, идея которых принадлежит Эме (§ 425) (1841—1843), которые были усовершенствованы в связи с работами Мори (§ 439) механиками Негретти и Замбра в Лондоне, позже Рихтером и Визе в Берлине.

Огромный шаг вперед сделан был во время войны изобретением звукового батометра, созданного по идее К. Шидловского и Ланжевена. Это изобретение чрезвычайно усилило топографическую съемку морского дна.

Усовершенствование батометров для взятия проб озерных и морских илов, позволяющее изучить разрез больших столбов водных осадков, было сделано в последние годы Б. Перфильевым и резко изменило и улучшило методику изучения водных осадков.

Это главнейшее из достижений последнего времени — начало большого движения научной техники.

444. Большие океанографические экспедиции привели сами собой неизбежно к созданию океанографических музеев, станций и институтов и к росту, начавшихся раньше и от них независимых, морских и океанических биологических станций, изучающих жизнь моря в связи с его физикой, химией и гидрологией.

Экспедиция Чалленджера — как драгоценный архив — сохранила свои сборы в Эдинбурге (Challenger Office), где с 1879 года шла и идет их разработка. Экспедиции А. Агассица связаны с Museum of Comparative Zoology в Кембридже, в Массачузетсе (теперь при Гарвардском Университете). Экспедиции А. Монако привели к созданию Океанографического Института и Музея в Монако и в Париже.

Среди морских биологических станций огромное значение имела станция в Неаполе с аквариумом, основанная в 1872 году А. Дорном. В ней выработался тип этих станций, и в ней же впервые дана возможность широкому кругу лиц видеть морскую жизнь. Она имела в большой степени международный характер. Первая станция была основана раньше Лаказ-Дютье во Франции (Росков—1871 г.). В 1871 же году создана биологическая станция в Севастополе по инициативе А. Ковалевского. В 1873 г. Л. Агассиц основал первую станцию в С. Америке в Пеникезе.

Станции сейчас охватывают все моря, работа их растет и расширяется и приобретает все больше значения. Они начинают специализироваться (§ 464).

В 1899 году Н. М. Книпович построил первую плавучую морскую лабораторию на корабле „Андрей Первозванный“. Сейчас непрерывно работает ряд таких лабораторий, развитие которых есть одна из очередных задач океанографии.

Почти одновременно создались пресноводные станции (§ 435).

445. Независимо от работ Чалленджера, в 1878 г. француз Шлезинг (T. Schloesing. 1824—1919) в ярком и простом объяснении связал состав морской воды в летучих его частях — углекислоте и аммиаке — с составом тропосферы и открыл этим новые пути в понимании химии моря. Новые работы уточнили и изменили объяснения Шлезинга, но основное представление о коренной, теснейшей количественной химической связи газов тропосферы с химическим составом и с жизнью моря осталось неизменным и является основой наших современных представлений.

446. Хуже обстояло дело с изучением химического состава иловой воды, значение которой в общей истории Океана было ярко установлено экспедицией „Чалленджера“, но химических данных об этих водах экспедиция не дала.

Основы современных представлений и путь, по которому здесь надо идти, были установлены независимо от работ ученых „Чалленджера“ и были даны не для океанов, а для озер и морей.

Несколько этапов могут быть отмечены.

Во-первых, уже в конце XVIII века Леклерк Бюффон установил аналогию илов, а следовательно и проникающих их вод, с почвами и проникающими их водами. Это понимание только теперь входит в жизнь.

Не сознавая этой аналогии, илы и иловые воды изучались как осадки и особенности их состава пытались в первом приближении объяснить чисто химическими, в них идущими, процессами. Среди работ этого типа можно отметить исследование морских грязей и их вод около Аренсбурга Гебелем А. (A. Goebel) в 1854 году.

Настоящий путь был указан в 1870 годах оригинальными работами А. А. Вериги (1835—1905) в Одессе, изучавшего целебную грязь лиманов Черного моря. А. А. Верига впервые указал на своеобразный биохимический процесс, который приводит к ее образованию, и на значение для ее свойств не только химических, но и коллоидальных процессов. Он впервые выяснил значение и особый характер органических азотистых соединений, здесь получающихся, — как сложных аминов, так и аммиака.

После долгого непонимания идеи Вериги вошли в жизнь. Работы микробиологов выяснили еще в большей степени, чем думал Верига, значение микробов и связанного с их жизнью газового режима; надо отметить в этой области работы XX столетия — Б. Исаченко, Бейеринка и многих других.

Наконец в результате производимого в этой книге анализа имеющихся данных выясняется резкая особенность илов и их вод в глубоких холодных областях океанических, морских и озерных бассейнов, связанная с неустойчивостью газообразной углекислоты (§ 463).

447. Со второй половины XIX столетия внимание химиков было обращено на выяснение того, в каком виде находятся в природной воде компоненты растворенных веществ и как следует их выражать в анализах.

Особое значение в выяснении этого явления имело развитие бальнеологии, — главным образом исследование минеральных источников.

Долгое время господствовало представление о их составе, как о солях, комплексах, находящихся в воде, и результаты анализа выражали в форме разных солей, строяемых из чисел анализа.

Теоретическое обоснование такого эмпирического выражения анализов не могло быть найдено, и в виду чрезвычайного разнообразия приемов выражения результатов анализов пытались внести искусственные правила, основанные на соглашениях. Здесь получили распространение и обратили особое внимание попытки Бунзена (1871) и Фрезениуса. Бунзен предлагал группировать ангидриды и основания в том порядке, в каком выделяются соли из свободно испаряющихся растворов при определенной (по соглашению) температуре. Фрезениус предложил соединять основания и ангидриды по их родству.

Одно время выражение состава вод, выработанное Фрезениусом благодаря указанному раньше значению их лаборатории (§ 417), получило довольно большое распространение, но этот успех не мог быть прочен, так как в определении сродства кислот и оснований много было условного и неточного.

Реакция против представлений и Бунзена и Фрезениуса началась раньше, чем они были окончательно сформулированы (1870-е годы), — в 1860-х годах. Искали путей выражать химический состав ближе к данным анализа, не вводя в изображение состава тех гипотетических солей, которые различно строили Бунзен, Фрезениус и другие.

448. Новые представления сложились к 1860 м годам. Американский химик Г. Стирен (G. Stieren) в 1862 году при изучении нефтяных буровых вод для ряда элементов — металлов, иода, брома, хлора и т. п. — вводил их как элементы, учитывая часть CO_2 , как бикарбонат (теперь HCO_3). Почти одновременно, в 1864—1865 годах, венгерский химик А. К.

фон Тан в Будапесте (С. Than. 1834—1908), видный аналитик, провел те же идеи последовательно для минеральных вод; его лаборатория явилась центром нового течения, более эмпирического в представлениях о составе вод, чем теория Фрезениуса.

Основные трудности, которые существуют в толковании анализов воды, заключаются в неясности того положения, какое занимают в ней атомы кислорода и иногда водорода, связанные с другими химическими элементами и не улавливаемые в этой связи анализом. Анализ поставлен так, что кислород (и водород) воды непосредственно не определяется, и мы заключаем о присутствии его особых атомов на основании косвенных данных: состава тех солей, которые выделяются в конце концов из водных растворов, и тех окислов, в виде которых при анализе определяются химические элементы (§ 264, 346).¹

Фон Тан признал, что в воде не существуют те соединения или подобные им, которые выделяются при ее испарении или получаются при анализе, а находятся лишь химические эквиваленты, из которых можно построить при их соединении соли, напр., для Na_2SO_4 он принимал в воде Na и SO_4 в соответственных количествах. Мы видим здесь, с одной стороны, чисто эмпирическое, точное представление об исследовании воды, отвечающее реальному факту: образованию солей из водных растворов, при чем Тан не делал предположений о состоянии элементов солей в растворе, но лишь точно количественно определял наличие необходимых для построения солей группировок. Он, с одной стороны, отбросил образные представления о форме нахождения элементов в растворе; с другой, удержал, опираясь на старые идеи Берцелиуса, представление о дуалистическом строении солей.

В этом отношении выражение растворов Таном находилось в полном согласии с той, еще не созданной в это время теорией, которая придала этим способам выражения реальность — с идеями Аррениуса (S. Arrhenius. 1859—1927) и Вант Гоффа (H. Vant'Hoff. 1852—1911) о распадении солей при растворении на ионы, противоположно электрически заряженные.

449. Эти новые представления, вошедшие в научное сознание в 1880—1890-х годах, в основных чертах высказанные в 1884—1887, имеют огромное значение в истории природных вод.

Ибо они не только дали удобные для научной работы модели — представления о форме, в какой находятся соли в водных растворах, но они прочно утвердили одно из основных, производимых водой в земной коре явлений.

В недавно изданных воспоминаниях об этом времени В. Оствальд, много сделавший для вхождения в научную мысль идей Аррениуса, правильно учитывает настроение, подготовившее почву для новой теории. Он вспоминает один из тезисов своей докторской диссертации в 1877 году, из которого можно было прийти к этой теории и которое ею было установлено. Он считал в 1877 году возможным доказывать, что „вода разлагает все соли“.

Это старая идея. Ее можно проследить далеко вглубь химических лабораторий, за несколько столетий, может быть еще глубже, — и она же получила в природной химии земли реальное значение в первой половине XIX века, когда вошли в жизнь представления Геттона (1785) и Плейфера, когда идеи фон Гоффа и Ляйелля о значении кумуляции мелких явлений в геологических процессах, т. е. понятие „геологического“ времени, охватило сознание натуралистов. Корни представлений надо искать в лабораториях алхимиков в идеях о растворителе, растворяющем все тела.

Отголоском этих идей является и теория электролитической диссоциации раствора.

¹ Выработка методики прямого определения кислорода и здесь, как во всех основных проблемах геохимии, стоит сейчас на очереди.

Вода, образуя растворы, разлагает в конце концов все тела, все „соли“ на части электрически заряженные — ионы, и эти ионы находятся в непрерывном движении в тех электрических полях, которые проникают водные растворы и создаются свойственными воде химическими силами при образовании раствора.

Наша мысль сейчас совершенно охвачена этими представлениями — и если в нее вносятся и будут внесены очень существенные изменения, то основное положение, ярко выраженное Оствальдом, представляется неизблемым.

Осколки, ионы, на которые вода разлагает, растворяя их, соли, тесно связаны с идеями Берцелиуса о строении солей начала XIX века.

Первые — простые — представления подверглись в дальнейшем коренному изменению, особенно ярко установленному для неводных растворов. Одним из основных изменений является допущение образования сольватов — соединений ионов с растворителем — для природных случаев ионгидратов. Эти представления, допущенные уже в 1890 г. Чиамичиано и Оствальдом, а в 1893 году Вернером, в XX столетии получили широкую и прочную базу (ряд работ П. И. Вальдена и др.) Они сгладили различие новых взглядов с гидратной теорией Д. И. Менделеева, принимавшего с самого начала особенности пресных растворов, и перенесли в гидратную теорию центр тяжести представлений.¹

450. Как бы то ни было в области эмпирического исследования водных растворов — особенно пресных вод — ионная теория дала обоснования представлению фон Тана почти без изменений.

К 1890 году этим путем условные осколки фон Тана получили реальное значение в виде существующих в воде положительных и отрицательных ионов.

Эмпирическое обобщение Тана получило теоретическое обоснование. Положительные и отрицательные ионы получили реальный смысл и явились основными компонентами раствора; природный раствор выявился как закономерное неоднородное равновесие, система, управляемая химическими и электрическими силами.

Значительно позже выдвинулось значение другой идеи фон Тана — идеи эквивалентов, о равновесии химически различных частей раствора и об их разных химических значениях и силе. Через 47 лет после выхода в свет работы фон Тана американский химик Ч. Пальмер (1911) придал этой стороне представлений Тана форму удобную для быстрого учета качеств воды, особенно тех, которые имеют практическое значение с точки зрения физико-химических ее свойств. Этот прием толкования анализов получил большое распространение под влиянием работ Геологического Комитета в Вашингтоне (Роджерса и др.) и в последнее время распространяется и в нашей стране (А. Уклонский, Н. Славянов).

Несомненно, он может иметь известное значение при решении некоторых практических проблем, главным образом касающихся поверхностных вод, и в меньшей степени для суждений научного характера. Но пользоваться им надо осторожно, так как то новое, что он вносит по сравнению со старыми способами описания, в значительной степени основано на недоказанных и явно упрощенных, не отвечающих сложной действительности, представлениях (§ 352).

451. В то самое время когда Тан выработывал свою систему представления химического состава воды, в научном мышлении получало развитие другое понимание о растворе и его компонентах, ярко и глубоко развившееся с 1865 года Д. И. Менделеевым (1834—1907). Это — гидратная теория раствора, тесно связанная с представлением о сложном молекулярном строении самой воды. Соль, входя в раствор, химически соединяется с молекулами воды, давая гидрат, в воде которого она переходит в водную жидкость. В ней молекулы соли связаны с молекулами воды

Эти идеи и основанное на них теоретическое представление о растворах долго стояли вне внимания большинства гидрохимиков.

Они не имели отражения в эмпирических идеях, начало которым было положено Таном, и находились в резком противоречии с получившими в конце XIX века господство построениями Аррениуса.

Время однако показало, что в основе идей Менделеева лежит глубокое эмпирическое обобщение и что теория Аррениуса не охватывает огромного количества точно установленных фактов; стало ясно, что выражение анализов по методу фон Тана в его ионном или эквивалентном понимании не приложимо — без ненужных осложнений — к большим массам природных вод, особенно к водам рассольным и соленым.

452. Но и гидратная теория с той поправкой, которую вносят соливаты, существование не водных растворов, — едва ли может объяснить не только явление растворов вообще, но и его проявление в природных водах.

Надо искать новой базы, опирающейся на категории фактов, которые не приняты во внимание в обоих представлениях.

Повидимому мы сейчас подходим к этим новым представлениям, выходим на новый путь. Эти новые факты сейчас выявляются в рентгенограммах жидкостей, новом пути, по которому пошел в исследовании каучука голландский химик И. Катц в 1925 г. и пришел к общему вопросу о строении жидкостей (1927—1928). Неизбежным следствием этого продвижения вперед явится, как он и указывает (1928), новое представление о строении растворов.

453. Исследование самосадочных озер и морских концентратов явилось опорным для гидратных представлений. Это исследование было вызвано практическими потребностями жизни.

Морские концентраты — искусственные участки моря, отделенные для выделения кухонной соли, и естественные участки моря, от него отделившиеся, — позволяют судить о закономерности изменения химического состава морской воды при ее концентрации, связанной с выпадением солей в твердом виде, определенного состава и в определенном количестве.

По указанию Малагути (F. Malaguti. 1802—1870), молодой итальянский химик, вскоре умерший, Узилио (Usiglio. 1849) произвел обстоятельное исследование химических изменений при сгущении свободным испарением морской воды Средиземного моря, которое, благодаря точности его работы, сохранило значение до сих пор. Узилио установил порядок выделения химических соединений при испарении раствора в так называемом маточном растворе, остающемся после выпадения большей части хлористого натрия.

Эти работы легли в основание научного схвата процессов, постоянно происходящих при замирании частей морских бассейнов или целых морских водоемов. Обычно при этом последние стадии процесса, относительно незначительные по весу и по объему маточные растворы, не сохраняются в осадочных породах в их твердом остатке.

Но один из относительно немногих особых случаев, оказавшийся, как мы теперь знаем, проявлением огромного процесса замирания Пермского моря в пределах нынешних государств Германии, Голландии и Франции, был в 1850-х годах открыт бурением и дал начало добыче солей калия. Стассфурт, где впервые началась добыча калиевых солей на глубинах до 300 метров, был тщательно и точно в течение долгих лет изучен минералогически, геохимически и геологически, и результаты работы сведены в 1864 г. (и вновь в 1875 году) Ф. Бишофом.

Это исследование положило начало пониманию процессов замирания морских бассейнов и подтвердило, уточнив и расширив, порядок выделения солей, установленный в первом приближении Узилио.

454. Нельзя не заметить здесь, что путь, указанный У з и л и о для морских бассейнов и позже расширенный изучением рассольных озер (§ 455), требует сейчас широкого развития и для минеральных источников; это один из точнейших и сильнейших приемов проникновения в изучение истории природных вод.

Это стало возможным, после того как Вант Гофф в долголетней работе с 1893 года, сперва один, а потом с рядом учеников [В. Мейергофф (ум. 1906) и другие], применил в этой области явлений научный опыт и математическую обработку — приемы физической химии, науки, установившейся в конце XIX столетия.

Работа Вант-Гоффа дала к 1908 году небывалую по точности картину сложного процесса равновесия, отдельные стадии которого наблюдаются в природе в виде соляных и рассольных вод и соляных отложений. К сожалению, работа не была доведена до конца, но и в той форме, в какой она сейчас находится, она является единичным явлением в минералогии, связывая в одно целое (в одно равновесие) водные растворы — рассолы и твердые минералы, при их концентрации происходящие. Математически точно Вант Гофф и его сотрудники выразили эти явления в виде поверхностей, изучение геометрии которых позволяет числом и мерою выразить парагенез образующихся минералов и познать условия, для этого необходимые.

Показан путь, по которому должна идти научная работа в изучении истории природных вод.

455. Соленые и рассольные озера, связанные с концентрацией морских вод, охватывают лишь одну часть озерных вод.

Ряд других соленых и самосадочных озер не связан с морем, а является результатом вековой концентрации вод в бессточных областях сухих образований, пустынь и полупустынь (§ 771) и химических (частью биохимических) реакций суши.

Для многих из них первоисточник соли тоже связан с морем, но не с морской водой непосредственно, а с иловой, может быть донной морской водой, прошедших нередко долгие стадии метаморфизма.

Огромный, эмпирически точный химический материал собран в этой области, начиная с 1830 — 1840 годов, с работ Гебеля, Абиха. Русские исследователи заняли здесь почетное место. Анализы К. Шмидта, Н. Федченко, А. Вериги в 1860—1880-х годах и более новые работы И. А. Каблукова, Н. С. Курнакова и других дали прочную опору приложению здесь учения о равновесиях. Работы русских ученых пошли глубже; при Академии Наук и на местах образовались центры работ, в которых физико-химическим анализом в новой его форме, созданной Н. С. Курнаковым и его школой (С. Жемчужный, Н. И. Степанов и др.), научное исследование природных вод получило возможность выявить новые стороны явлений и подойти к новым проблемам теории неоднородных физико-химических равновесий.

Начинают выясняться и здесь новые закономерности.

456. Тесно связанное с законами равновесий эмпирическое положение о постоянстве химического состава природных вод в определенных пределах колебаний их состава вошло в научное сознание в конце XIX, в начале XX века.

Оно никогда однако не было высказываемо в определенной и ясной общей форме и не было подвергнуто критическому рассмотрению и анализу.

В действительности оно лежит в основе нашего знания и в основе всей текущей научной работы. Из него однако не сделаны еще необходимые выводы.

Его можно выразить следующим образом: химический состав каждой индивидуальной природной воды может быть выражен для каждого химического элемента в пре-

дельных минимальных и максимальных числах, которые не смещаются в короткий срок исторического времени. Выведенная в связи с этим средняя величина химического состава есть величина постоянная в пределах исторического времени.

Это среднее может выдерживаться для данной воды и в течение геологического времени.

Существование известного, очень определенного, постоянства для океанической воды установлено очень давно (§ 416). Существует средняя величина, к которой приближаются большие пресные реки (§ 614). Каждая река, озеро, море имеет величину очень мало изменчивую в течение исторического времени, кроме определенных случаев, которые указывают на реально совершающийся закономерный процесс изменения (§ 612, 614 и др.).

457. Для наиболее разнообразного семейства природных вод — для минеральных источников — вопрос о постоянстве их состава несколько раз подымался и решался независимо от раньше достигнутого решения в положительную сторону.

Впервые К. Бишоф в 1826 году установил постоянство состава минеральных источников (в указанном понимании) для минеральных источников Таунуса в Германии; около того же времени это доказывал и И. Берцелиус (для Карлсбада).

Но в связи с ростом точности аналитических данных, те же вопросы были вновь подняты в 1880—1890-х годах. А. А. Иностранцев (1882) констатировал это для Друскеник, в 1894 г. Р. Фрезениус отметил большую устойчивость состава для терм с более высокой температурой.

Это положение, как удовлетворяющее в общем огромному числу разнообразнейших наблюдений самых различных вод, принято в этой работе и положено в основу изучения природных вод.

Только исходя из такого рассмотрения можно: 1) определять происходящие в отдельных случаях изменения состава и искать их объяснения, 2) выявлять вековые изменения состава, несомненно идущие в отдельных случаях, (озера — § 274, 629), 3) установить периодические колебания (§ 611).

Можно до известной степени видеть в этой книге попытку проверки этого положения, более 100 лет стоящего перед натуралистами.

458. В середине XIX века вскрылись особенности почвенных вод, которые в начале обратили на себя внимание только одной своей стороной.

В 1850 году английский химик, агроном Т. Уэ (T. Way) напечатал в Transactions Королевского Земледельческого Общества Англии мемуар, оказавший огромное влияние на научную и практическую земледельческую мысль. Он указал, что почвы обладают способностью менять состав протекающих через них растворов. Почва поглощает одни химические элементы в почвенный раствор и выделяет другие: она удерживает те, которые важны для питания растений.

Это открытие возбудило огромное внимание и явилось основой новых научных теорий плодородия. За много лет до Уэ, в 1833 году на эти явления обращал внимание Броннер, в 1845 году — Томпсон и Гекстабль (Huxtable. 1848). Наверное будут найдены и другие забытые наблюдения. Но все эти наблюдения были затеряны, не оказав влияния. В 1858 году впервые Ю. Либих узнал об открытии Уэ и сделал ясным его значение.

Наблюдения Уэ и многочисленные работы, за ними следовавшие, указали на химическую активность почвы по отношению к соприкасающимся с ней растворам.

И все же важнейшие выводы из этого явления по отношению к проницающим почвы водам были сделаны и поняты только через многие десятки лет после открытия Уэ — в XX столетии.

Прошло долгое время, пока поняли сложность процесса и невозможность пользоваться теми простыми схемами, которые были в ходу в течение долгого времени в XIX столетии.

459. Только сейчас мы начинаем выходить на торную дорогу. Проникающий почву водный раствор, основное условие существования наземной растительности, впервые в 1920-х годах становится доступным нашему непосредственному изучению центрифугированием благодаря работам американских ученых, но главным образом А. Ф. Лебедева. Работы А. Ф. Лебедева показали, что этим путем выделяется только часть раствора — капельножидкая вода (§ 12).

Эти работы явились результатом долгих, неудачных и недостаточных попыток; сознательно вопрос о выделении почвенного раствора был поставлен в 1866 г. — вытеснением его жидкостями (J. J. T. Schloesing — водой). Работы А. Ф. Лебедева являются решением задачи, поставленной Шлезингом.

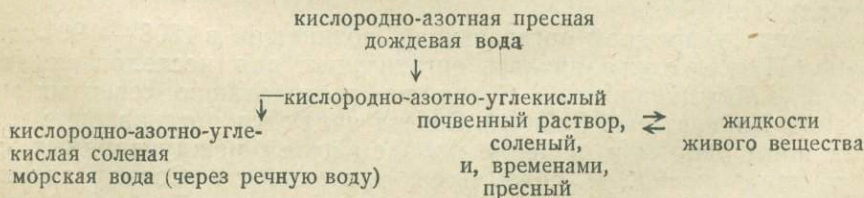
Сложность явления выявилась после долголетней, в общем почти бесплодной, экспериментальной работы. Воздушно „сухая“ почва содержит волосную воду, а почва влажная, покрытая растительностью, представляет сложнейшую коллоидальную и гигроскопическую систему равновесия, в которой водный раствор непрерывно меняется. Он меняется одновременно от выпадения осадков, росы, внутренней росы — от изменения газов в связи с жизнедеятельностью проникающих и покрывающих почву организмов. Водные растворы, проникающие почву, переполнены микробами, грибами и животной жизнью; они непрерывно переходят во все подклассы, на которые мы делим природные воды, при чем в большинстве случаев господствуют среди них воды соленые особого типа, богатые углекислотой, органическими веществами, нитратами и карбонатами. Работы русских ученых К. К. Гедройца, А. Г. Дояренко, А. Ф. Лебедева и их сотрудников подходят к разрешению общего вопроса о меняющемся составе этих вод, но пока мы количественно выразить состав этих вод можем лишь очень приблизительно.

Изучение почвенных растворов вскрывает в истории воды грандиозное явление, связывающее столь разные воды, как морскую, речную и дождевую.

Сплошной покров почвенных вод, различных для разных почв, есть область теснейшего взаимодействия

живое вещество $\rightleftharpoons$ почвенная вода.

В общем схема происходящего здесь процесса и генетическая зависимость почвенных растворов может быть сейчас выражена следующим образом:



460. Эти почвенные растворы вырабатываются двумя формами энергии: с одной стороны, геохимической энергией живого вещества, с другой стороны, молекулярными силами — волосными, пленочными и т. п.

Это придает химии этих вод чрезвычайно своеобразный характер. Под влиянием вечно меняющейся жизни и не менее меняющихся молекулярных жидких, полужидких и твердых комплексов рыхлых масс веще-

ства эти растворы и золи, их проникающие, находятся в вечном изменении.

Точное понятие о среднем их химическом составе и его периодическом, в связи с солнечным и жизненным циклом изменений, даст ближайшее будущее. А. Ф. Лебедевым (1928) дан сейчас точный метод выделения, а следовательно, и анализа, этих вод, пользуясь центрифугой большой мощности. Правда, это касается одной только части этих вод — вод гравитационных, капельножидких (§ 12), но и такое частичное решение вопроса является огромным шагом вперед.

461. Представление о характере почвенных вод, выдвинутое А. Ф. Лебедевым, являющееся результатом долгой и оригинальной работы, получает сейчас огромное значение, выходящее за пределы почвенных растворов.

Сложившееся уже в 1913 году, оно получило в новом издании его книги (1930) глубокую переработку. Мне кажется, явления, к которым пришел А. Ф. Лебедев, выходят за пределы почвенных растворов и биосферы, как это он ясно видит и сам.

Они дают возможность выявить структуру всех подземных, глубинных вод. Та структура, которая принята и проводится в этой книге, основана на развитии идей А. Ф. Лебедева.

Исходные для них данные связаны, с одной стороны, с изучением влажности почв и вскрывшихся при этом закономерностей — с существованием подземной росы и значением подземных водяных паров в создании почвенной влаги (§ 483), и с другой, — с изучением передвижения почвенной влаги в связи с тепловыми эффектами в самой почве. Опираясь, с одной стороны, на эти свои исследования и на работы А. Митчерлиха (1901), а с другой — на работы физиков [в частности Родевальда (1900)], А. Ф. Лебедев (1913) выявил строение почвенных и „грунтовых“ (т. е. вод подземных, верховодок и напорных) вод.

В сущности он выявил основное динамическое равновесие:

природная вода $\rightleftharpoons$ твердое тело

и связанную с этим структуру природных подземных вод (§ 12).

462. С XX столетия океанографические явления (§ 439) обратили на себя еще большее внимание, чем в предыдущем веке.

Открываются новые горизонты; биологическая и динамическая океанография — в связи с потребностями жизни — является таким центром изучения, каким она никогда не являлась раньше. Начинает все более получать значение и химия моря. В связи с этим выступают все в большей и большей степени международные организации как в решении определенной проблемы, так и в территориальных работах, ибо природные области не совпадают с политическими.

Первой международной организацией, возникшей в 1898 — 1901 году по инициативе Петерсона, явилась организация для исследования северных морей, — Международный Совет по исследованию северных морей, с центром в Копенгагене. Задачей Совета являются установление единообразных норм работы и решение проблем путем международных соглашений и предприятий. К сожалению, деятельность Совета для химии моря оказалась в одной части мало удовлетворительной. Определение солёности, широко введенное им в практику, связанное с затратами больших средств и большого труда, явно не удовлетворяет геохимическим требованиям, ибо под цифрами для хлора подразумевается сумма галогенов ($\text{Cl} + \text{Br} + \text{J}$), и если иод может быть в ряде вопросов оставлен в стороне, количества брома так велики и, повидимому, часто различны, что не могут быть оставляемы без учета. Так создавшееся положение, по моему убеждению, вынесенному из изучения огромного материала, не позволяет

сейчас подойти к решению важных черт химии моря и не отвечает той точности, с какой наука может и должна сейчас ставить свои задания. Эта методологическая ошибка, проявляющаяся и в других международных работах, должна быть возможно быстро исправлена. Должен быть выдвинут вопрос о полном анализе морской воды, поставленный сейчас определенно научно развитием геохимии.

В 1914 году создается в связи с движением льдов и огромным экономическим значением Ньюфаундлендских мелей (Великой мели), уже в течение столетий связанных с несколькими государствами — сперва европейскими, теперь европейскими и американскими, — специальный международный Ice Patrol (Ледяной Дозор), задачами которого прежде всего является изучение состояния плавающих льдов (ср. § 53), но эти задания особенно в последнее время расширяются в направлении общих океанографических исследований Атлантического океана.

В 1919 году создается третье международное объединение для исследования Средиземного моря по инициативе А. Гримальди (кн. А. Монако) с центром в Монако, в Океанографическом институте — Совет для исследования Средиземного моря.

В 1920 году создается первая — слабая пока — международная организация, захватывающая и другие океаны, при Международном Геодезическом и Геофизическом союзе, — а еще позже океанография величайшего океана является предметом внимания Международного Тихоокеанского комитета.

Во всех этих организациях наша страна представлена чрезвычайно слабо, хотя по существу заинтересована во всех них; нигде нет ее постоянного участия. Оно проявлялось до 1917 года в Копенгагенском объединении — сейчас сохранилась личная связь.

Восстановление этих связей и их укрепление является задачей дня.

На очередь стал после войны (1919) вопрос о возобновлении, если возможно в международном масштабе, большой океанической экспедиции типа экспедиции Чалленджера с учетом всего знания и всей техники, накопившихся с того времени. К сожалению общие политические условия жизни англо-саксонских стран не дали пока возможности осуществить эту очередную научную задачу. Особенно важно это сделать в международном масштабе и по определенной геохимической и гидрохимической программе; здесь выдвинуты и выдвигаются совсем новые проблемы большого значения. Так, почти не затронуто изучение донных и иловых вод океана и химический состав организмов, находящихся в постоянном химическом обмене с океанической водой во всех ее проявлениях — основной, донной и иловой.

463. Для изучения газового обмена международно согласованная работа дала уже важные результаты. Выяснена роль углекислоты — основная в химии и в биохимии морской воды. В общем обобщение Т. Шлезинга (§ 445) об океане, как регуляторе углекислоты тропосферы и жизни, оказалось верным, но механизм во многом оказался иным, чем он предполагал. Среди работ в этом отношении выделяются по своему значению и своей точности работы шведа А. Крога (A. Krogh. 1910) и комитета по углекислоте в Гельсингфорсе, обработанные К. Бухом (1932).

Выяснилось новое значение углекислоты в создании щелочности моря в связи с образованием H_2CO_3 и ее ионным распадением (§ 758, 761).

Точно также подтвердилось обобщение Эме (§ 425) о тропосфере, как о первоисточнике газов океана, идущих всегда в него сверху.

Одновременно те же потребности жизни — рыбного дела главным образом — выяснили с большой точностью, отчасти теми же методами, газовый режим наземных вод — соленых и пресных озер — во многом, особенно для углекислоты и сероводорода, своеобразный.

Сейчас стало возможным связать режим углекислоты в океане и на суше с общим явлением газового режима земной коры, — в частности с газовыми подземными атмосферами, что и делается в этом сочинении.

464. Внимание в XX веке все более и более направляется в сторону биологической и динамической океанографии. Остается пока в стороне геохимическое исследование океана.

Можно отметить два новых течения, с этим связанные.

Во-первых, проникновение в океанографию математической физики (в широком ее охвате) — в работах Бьеркнеса-отца (С. Bjerknes. 1825—1903) в первую голову. В связи с этим весь вопрос о морских течениях (§ 439) пересматривается, и выдвигаются новые проблемы. Биджелов (I. Bigelow. 1929) прав, подчеркивая значение больших вертикальных передвижений масс воды, во многом еще загадочных. Эти вертикальные движения приобретают огромное значение с точки зрения криосферы, как мы увидим во второй части этой книги.

С точки зрения биологической океанографии выявляется новая методика, очевидно связанная с новыми проблемами.

В этом отношении создаются изменения в организациях биологических морских и океанических станций. Открытая в 1908 г., находящаяся в связи с Калифорнийским университетом (Berkeley) Scripps Institution for biological research в La Jolla в Калифорнии на Тихом океане, систематически направляет часть своей работы на изучение химических вопросов (миграция кальция); на биологической станции на Мурмане (основанной в 1900 г. по инициативе Н. П. Вагнера Петербургским Обществом Естествоиспытателей сперва на Соловецких островах в Белом море, энергией и инициативой К. М. Дерюгина перенесенной потом и блестяще поставленной на Мурмане в Александровске, теперь Полярном) создается (1931) специальная лаборатория для обслуживания биогеохимических проблем (В. И. Вернадский и А. П. Виноградов). Дальнейшее развитие этих новых направлений есть дело будущего.

464А. Начали выясняться в XX веке явления, связанные с магматической водой, хотя и до сих пор наши знания в этой области очень незначительны. В основе лежат идеи, развитые в 1847 г. Эли де Бомоном (§ 422). Ш. С. Клер Девиль (Ch. Sainte Claire Deville. 1814—1876) в 1856 году дал классификацию газовых выделений вулканов путем изучения вулканов Италии, при чем он указал на преобладание среди них паров воды. Огромное количество воды, выделяющейся при вулканических извержениях, было известно давно, но воде этой придавали часто, можно сказать обычно, вторичное происхождение — связывали ее с атмосферной водой или же с морской водой. Количество ее в вулканических извержениях огромно; можно иметь о ней лишь приблизительное понятие из неполных наблюдений. Фуке (F. Fouqué. 1828—1904) при извержении Этны определил для одного из паразитных кратеров Этны массу водяных паров в 100 дней, равной $2.1 \times 10^6 m^3$ — это очевидно ничтожная часть выделившихся в тот же промежуток времени всем вулканом. Каждое вулканическое извержение выбрасывает огромное количество водяных паров. Несомненно часть этих паров принадлежит биосфере, ибо вулканическое извержение вызывает огромное изменение в режиме водяных паров тропосферы, вызывает дожди; часть связана с нагреванием пород земной поверхности и стратосферы и выделением в парах их капиллярной и капельной жидкой воды, но часть несомненно идет снизу вне связи с биосферой.

В виду того, что А. Брен (1908) выдвинул теорию отсутствия этих первичных паров воды в вулканических газах, проникающих лаву в первые моменты ее выхода на земную поверхность, вопрос был решен непосредственно наблюдением Геофизической Лаборатории Карнеджи в Вашингтоне исследованием А. Дэй (A. Day) и Г. Шеферда (E. Shepherd) газов

извержения Килауэа в 1912—1913 годах. Мысль Брена не подтвердилась. Позже эти наблюдения были подтверждены другими.

Вода однако и при этом могла бы быть не вполне первичной—могла образовываться в более глубоких частях стратисферы. Я вернусь ниже к рассмотрению этой проблемы. Много больше 95% вулканических газов состоит по новым определениям из паров воды. Согласно принципам классификации, здесь принятой, рассольные вулканические водяные пары не существуют; преобладают водяные пары соленые, но есть и пресные (§ 529).

Конечно, это вода сложного происхождения, если проследить вглубь ее историю, но она подымается из глубины с лавой и в лаве. Характерно, что огромная ее часть кислая—богата кислотами HCl , H_2S , HF , HBr , H_2CO_3 и т. д. в вулканах, в биосфере— H_2SO_4 (окислением H_2S). Сейчас выясняется, благодаря исследованию той же лаборатории [работы А. Дэй и Э. Аллена (E. Allen)] 1927 года, в Калифорнии существование другого типа вулканических паров, щелочных, богатых аммиаком, связанных не с лавами, но с гейзерами, перегретых. Они были открыты много раньше. Таковы знаменитые горячие соффионы Тосканы, впервые описанные Д. Тарджони-Тоццетти (1742). Уже ученые конца XVIII века выяснили главные черты их химического состава—в 1778 году У. Гефер (U. Höfer) открыл в них, в их парах, бор, до тех пор известный только из борных озер, а в 1779 году П. Маскани—аммоний. Их химический характер был выяснен значительно позже, когда началась техническая их разработка в начале 19 столетия. Хотя работы Р. Назини и его сотрудников (1894—1930) выяснили многие основные черты их химической структуры, тип горячих паров „соффионы“ стал ясным лишь в XX веке после выявления их американского аналога.

465. Фреатические и ювенильные горячие воды и водные пары, к сожалению, до сих пор не охвачены научной мыслью в той мере, в какой сейчас изучены рассольные воды и замирания морских бассейнов. В учении о минеральных жилах, метаморфизме, контактовых явлениях выяснено огромное значение горячих вод и водных паров в тех продуктах, которые получают при химических реакциях, в них происходящих, и уже к середине XIX века в работах И. Брейтгаупта, К. Бишофа (§ 419), Эли де Бомона (§ 422), А. Добрэ и других собрано огромное количество относящихся сюда данных. Они были сведены к началу XX века в книге Ван Хоуза (1904) о метаморфизме, в геохимии Кларка (§ 505) и т. п.

Но во всех этих работах характер самих вод не обращал на себя достаточно внимания.

Лишь в отдельных случаях можно отметить в этом отношении некоторые эмпирические достижения, открывающие путь к выявлению состава вод.

Выяснилось широкое распространение металлов в минеральных водах (§ 437), с одной стороны, а с другой—нахождение своеобразных вод, богатых H_2S и CO_2 —горячих водных паров или горячих вод.

Воды, богатые H_2S , выяснены работами исследователей рудных месторождений.

Исследования контактов дали точные указания о существовании в определенных участках земной коры водяных паров, богатых углекислотой—это кислые аналоги водных паров, богатых NH_3 (§ 464). Кислый их характер определяет их значение в создании минералов, обуславливает резкое химическое изменение ими стенок их месторождений. Их существование выяснено изучением минералов сухих трещин—минералов Альпийского типа (I, § 113). Выяснение этого типа было достигнуто изучением минералов Альп и геологии горных цепей, с которыми они связаны, поколениями точных минералогов, среди которых видное место занимают многолетние работы Г. фон Рата с 1861 (G. v. Rath. 1830—1888), П. Грота,

Г. Вейншенка. С 1911 года И. Кенигсбергер подошел к этим явлениям с точки зрения физико-химической и с точным парагенетическим наблюдением. Альпийский тип минералов указывает на существование областей, где действует под давлением в тысячи атмосфер и при температуре в сотни градусов смесь газов: $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$.

466. Другой тип вод — пегматитовые (§ 294) — представляет уже переход в магмы ближе к ним и тесно связан с литогенезом массивных пород plutонического типа.

Участие паров воды в этих процессах, сделавшееся ясным после (и под влиянием) работ Шеерера (§ 422), привело после исследования, длившегося больше столетия, к работам XX века, ставящим эти пневматолитические процессы, идущие в пределах $140^\circ - 700^\circ$, на прочную почву физико-химических построений. Огромную роль сыграла здесь поколениями шедшая работа главным образом норвежских минералогов по исследованию южно-норвежских пегматитовых жил, получившая завершение в исследованиях К. Бреггера и его учеников (1887—1924). На основе этих работ получила значение и могла углубляться дальше огромная эмпирическая работа минералогического и геологического изучения пегматитовых образований. Нас здесь должно главным образом интересовать, как на фоне этого изучения выявились роль воды и существование особых пневматолитических водных расплавов, переходящих в условиях создания пегматитов в гидротермальные процессы бедные жидкой водой другого химического состава, чем водные термы минеральных жил и отвечающих им в верхней части земной коры минеральных источников.

Тесная связь пегматитов с гранитами давно ясная и подчеркнутая Делессом (1853. Delesse. 1811—1881), неизбежно выдвигала вопрос о роли воды в 1840—1850-х годах. Ясно и определенно вопрос о значении воды стал к концу XIX века (1880—1890 года) благодаря Бреггеру и И. Фогту, связавшим их образование с вновь выросшей в это время физической химией.

Сейчас здесь идет огромная работа, которая, однако, не выяснила пока характер самого водного тела, частично в связи с тем, что процесс идет под большими давлениями, частью в областях, превышающих критическую температурную точку воды и ее же точку, меняющую ее химический характер. Водные растворы здесь жидкие, гл. обр. газообразные.

Я вернусь к этому явлению во второй части. Здесь же отмечу, что работы — помимо указанных лиц — А. Е. Ферсмана, П. Ниггли, А. Лакруа, В. Шалера, В. Гольдшмидта и др. ясно выявили, что мы имеем здесь столь резко отличные от водных растворов образования в тесной связи с теми массивными породами, остаточный водный расплав которых составляют пегматиты (два главных типа гранитный и нефелино-сиенитовый для кислых пород).

467. Выявление скоплений богатых водою горячих газов получает особое значение благодаря тому, что, как показал в 1900 году С. Аррениус, можно допустить, что пары воды или их растворы в алюмосиликатовой магме являются при высокой температуре и давлении сильной кислотой.

Это открытие Аррениуса имеет большое значение в теории петрогенеза и для объяснения химического строения выделяющихся в присутствии воды силикатов и алюмосиликатов.

Вода в термодинамических условиях биосферы тело амфотерное, скорее слабое основание, чем кислота, резко меняет свои свойства при повышении температуры, является химически новым, чуждым нашим обычным представлениям, телом. В магмах она должна играть роль кислоты и вытеснять SiO_2 и CO_2 из их солей.

Эти представления начинают получать значение в современном учении о химии магм и пегматитовых вод.

468. В начале XX века в 1909 году — молодой, умерший в полном расцвете сил, австрийский минералог Ф. Корну восстановил из пыли забвения эмпирические обобщения И. Брейтгаупта (§ 423) и связал их с учением о коллоидах, достигшем в химии и в биохимии к этому времени значительного развития. Корну первый связал коллоидальные минералы, тела аморфные, с корой выветривания, с определенной геосферой и указал на чрезвычайное распространение и значение этих форм проявления воды.

Одновременно с разных сторон в историю воды проникли представления о коллоидальных процессах и явлениях, связанных с частичными силами молекул воды — для почв и почвенных растворов (§ 459) — разным путем, приведшим к обобщениям А. Лебедева (§ 12, 461) и К. Гедройца, для природных минеральных источников, для природных вод вообще (§ 461). Значение этих явлений неуклонно все расширяется и углубляется в наших представлениях.

469. Изучение электропроводности и щелочности водных растворов и их природных разностей привело к новому методу познания их свойств и к большому углублению нашего понимания взаимоотношений между явлениями жизни и природной воды.

Еще в середине XIX века Бибра (§ 416) указал на щелочность морской воды в отличие от кислого характера многих природных вод (напр. болотных) и нейтрального других, что было давно известно химикам. Но эти явления мало обращали на себя внимания. Лишь в конце XIX века Кольрауш изучил электропроводность водных растворов и объяснил с точки зрения идей Аррениуса их химическую реакцию. В общем диссоциация на ионы H^+ и HO^- довольно хорошо объясняет наблюдаемые явления, однако отклонения между теорией и наблюдением значительны.

Их пытались объяснить (Lewis) особой активностью ионов, но для природных вод многое выясняется их газовым раствором — изменением, вносимым углекислотой (§ 241).

Определения количества ионов в морской воде начались в начале XX столетия (Рингер в 1908 г., кажется первый для Северного моря, — $5,8 \times 10^{-10}$ — $1,4 \times 10^{-9}\%$ H^+), и в то же время биологи (впервые Лёб в 1903 г.) отметили значение концентрации ионов H^+ для явлений жизни. Сёренсен (1909) ввел в употребление константу P_H , и с тех пор — при улучшении и упрощении методики исследования — добыто огромное количество измерений самых разнообразных водных растворов — природных и искусственных, связанных и не связанных с организмами.

Перед нами открылась картина тонкой, глубоко проникающей в строение воды и живого организма организованности, регулируемой на первый взгляд ничтожным количеством заряженных ионов водорода или ионов гидроксила, находящихся в природных водных жидкостях.

Основным является щелочность океанической воды — неизменное количественно, все время сохраняющееся определенное, небольшое преобладание в ней ионов HO^- над ионами H^+ , несмотря на бесчисленные химические реакции, в ней идущие и изменяющие ее ионизацию. Открылось чрезвычайно тонкое динамическое равновесие, чувствительнейшее строение, своеобразный механизм гидросферы.

Главная масса ионов водорода связана с распадом не молекул воды, а их соединения с углекислотой, неизбежно происходящего при растворении газообразной CO_2 , т. е. быстро разлагающегося в чистом виде, неизвестного тела H_2CO_3 . По крайней мере таково наиболее правдоподобное толкование этих явлений.

Области существования отдельных групп, видов и семейств организмов обуславливаются определенной величиной P_H .

Она же имеет то же значение для почвенных растворов.

470. Точное математическое — количественное — определение ионов, в связи с их огромным значением в жизни моря и наземных вод, дало прочную опору характерному для нашего времени убеждению в существовании в природных водах чрезвычайно тонкой структуры, далекоходящей за пределы обычных химических количественных анализов. Эта тонкая структура в то же время проявляется в грандиозных геологических явлениях.

Очевидно это явление ионизации не может быть единичным. В природной воде должны быть и иные, количественно ничтожные, свойства, изучение которых должно отразиться на окружающей нас химии земной коры и должно открыть такие черты химии природной воды, которые сейчас от нас скрыты.

К этому приводит и чисто эмпирическое изучение некоторых природных вод, в которых человек по требованиям жизни приходит к чрезвычайному углублению в химическую структуру природной воды. Таковы новые стремления в бальнеологии, в изучении действия природных вод на здоровый и больной человеческий организм.

Минеральные воды явно представляются нам химически гораздо более сложными, чем это дают нам самые тщательные и полные химические анализы. Это в высшей степени подвижные закономерные динамические равновесия, находящиеся в вечном изменении как под влиянием окружающей их среды, так и их населения и их состава. Они меняются немедленно и чрезвычайно, изъятые из их обычного нахождения: лабораторное их изучение должно считаться с этой их изменчивостью. Должны быть найдены новые приемы и пути для их изучения и научно охвачены новые их свойства, сводимые к химическому научному учету.

471. Такое движение мысли действительно наблюдается сейчас в этой области явлений. Оно должно привести к новому, углубленному охвату природных вод, который отразится и на познании их минералогии. В XX веке эти течения приобретают все большее и большее значение. Начинают изучаться различные физико-химические, радиологические, физиологические свойства вод самых разнообразных их подцарств. Может быть наиболее разнообразно изучаются минеральные воды (восходящие воды разных семейств) в виду их огромного лечебного значения.

Эти изучения приводят к очень важному выводу об огромном значении в этих водах коллоидальных явлений — в форме чрезвычайно разведенных зольей. Коллоидальная структура выясняет чрезвычайную чувствительность и индивидуальность свойств минеральных вод в их влиянии на явления жизни.

Уже в конце XIX века начались попытки доказать присутствие коллоидальных компонентов в минеральных водах. Их значение было учтено одним из первых Ф. Гарригу (J. F. Garrigou); позже Lontey в 1875 г. доказал их присутствие изучением анализа вод минеральных источников.

Но только в XX веке широкое проявление этих явлений было точно доказано и измерено. Среди новых работ обращают внимание работы В. Копачевского во Франции (1919 г. и след.).

Выявлены разные проявления коллоидальной структуры вод — раньше всего путем изучения электропроводности вод, с значением которой мы уже встретились (§ 469) и которую изучал с точки зрения концентрации солевых компонентов минеральных источников уже в 1897 году Ленерт (Lehnert). Сейчас выясняется ясно количественно-индивидуальный характер этого признака, позволяющий резко отличать самые близкие минеральные воды и вероятно связанный с особенностями их химического и коллоидального состава, но для того чтобы это видеть — необходимо определять свойства воды немедленно на месте (В. Копачевский. 1929).

На то же существование коллоидальной структуры минеральных вод, чрезвычайной ее сложности и чувствительности указывает количественное изучение электрокапиллярных их свойств, давшее в работах Копачевского интересное результаты.

Особенно для железа получаются в этом освещении очень интересные данные, открывающие пути для новых представлений о строении вод (Баудиш и его школа).

Эти явления свойственны не только минеральным источникам.

472. Коллоидальные разведенные „растворы“ — воды, заключающие коллоиды, — господствуют в биосфере. Нам совершенно неизвестны те глубинные воды, богатые сернистыми или силикатовыми и алюмосиликатовыми компонентами, существование которых необходимо допускать в областях фреатической и ювенильной (§ 393). Но по видимому они ближе к коллоидальным гелям и золям, чем к настоящим растворам.

Эти явления сейчас обращают наше внимание и должно быть приведут к неожиданному.

Становится важным обратить внимание на физическую и химическую структуру мицелл, которая сейчас выступает со все большей степенью значения в коллоидах живых организмов. С другой стороны — может быть в связи со строением мицелл — должны обратить на себя внимание электрические явления, связанные с золями и гелями.

Мы подходим здесь к явлениям, которые, может быть, должны будут в дальнейшем быть отделены от коллоидальных проявлений и связаны не с ассоциациями элементов в большие группы, как это мы видим в явлениях коллоидов, а с разбитыми группами — с дальнейшим дроблением ионов, например с образованием единичных ионов железа взамен бывших раньше комплексных его ионов или мицелл его соединений. Так можно объяснять некоторые случаи старения железо содержащих фреатических или ювенильных вод. Если даже эти объяснения окажутся неверными, кажется несомненным, что одни обычные коллоидные процессы недостаточны для его понимания.

473. В тесной связи с выяснившимся коллоидальным характером минеральных вод стоит своеобразное применение к изучению структуры природных вод нового метода — изучения их влияния на организмы.

В сущности вода и жизнь неразделимы, и весь уклад поверхностных вод планеты и в том числе главной массы воды — воды океанической — определяется жизнью. Это стало ясным по мере развития океанографических и лимнологических работ морских и пресноводных станций.

Вся бальнеология представляет тысячелетний опыт человечества — на самом себе изучения разной структуры вод. С XVIII века этот опыт начинает получать более научный облик, и выясняется существование в структуре вод таких черт, которые не открываются иным путем в ней — ни химическим, ни физическим анализом.

Правда, эти достижения отражались на познании вод довольно туманно, но все же давно стало ясным, что живой организм, больной к тому же, является столь чувствительным реагентом, что он позволяет видеть и измерять новые явления в той сложной организации, какой являются природные воды. Новые минералогические и геохимические явления несомненно этим путем выделяются, как, например, выделилось все семейство минеральных вод.

Сейчас в связи с уточнением диагностики болезней, приобретающей характер физико-химического лабораторного исследования и вхождения в медицину эксперимента, также построенного на физике и химии, значение этой формы исследования природных вод приобретает значение, имеющее, мне кажется, будущее и с геохимической и с минералогической точки зрения.

Кажется впервые в 1913 году Д-р Билляр (Billard) доказал на животных (морских свинках) охранительное влияние минеральных вод Руая

(Rouyat) по отношению к анафилактическому удару. В результате началась новая методика экспериментально медицинского исследования минеральных вод, вскрывающая существование в них строений, исчезающих от нашего физико-химического анализа. В Пятигорске в 1926 году началась в этом направлении работа школы И. П. Павлова над Кавказскими минеральными водами.

474. На этой же почве — терапевтической — началось в XX веке широкое изучение радиоактивных свойств природных вод. Нахождение в природных водах в источниках сперва радия и эманаций было сделано в 1902 году независимо Селла и Поккетини в Италии и Д. Д. Томсоном в Англии. Лишь в 1904 году Гимстедт установил присутствие эманации, как основную причину радиоактивности большинства природных вод. В виду предположения о значении радиоактивных компонентов для лечения и благодаря нахождению удобных и точных методов исследования, очень быстро собрано было много количественных данных по радиоактивности минеральных и поверхностных вод и по количественному определению радона.

Гораздо меньше количественных данных для радия и совсем почти нет для тория и актиния.

Это — область знания, которая находится в последнее время в быстром развитии, и совершенно ясно, что здесь можно ожидать очень много неожиданного.

Совершенно ясно, что воды играют огромную роль в истории радиоактивных элементов, разделяя друг от друга создавшиеся при распаде элементы, например радий от урана и т. п.

Удивительным образом основное явление в радиологии — отношение между ураном и радием — только в самое последнее время обратило на себя внимание при исследовании вод. Уран был определен впервые качественно в морской воде ирландским ученым Д. Джоли в 1909 году, и в том же году профессор Ш. Лепьерр в Лиссабоне определил его количественно в одном из минеральных источников Португалии. Но только через 20 лет, в 1929—1930 годах, проблема была вновь поставлена на очередь. Португальский ученый Г. Карвальо (H. Carvalho) рядом новых определений указал на несовпадение отношения U/Ra в минеральных водах с обычной величиной этой константы: очевидно идет разная миграция атомов U и Ra , изучение которой должно иметь большое значение для более точного познания минеральных вод.

Радий найден и в океанической воде; однако здесь мы стоим еще перед неясной задачей, так как все указывает, что он быстро уменьшается в количестве по мере удаления от суши, и экспедиция Карнеджи не могла открыть его в воде открытого океана. Возможно, что он поглощается живыми организмами, что было установлено для пресных вод работами нашей Биогеохимической лаборатории (1929).

В последние годы, особенно с 1929—1931 года, вскрывается существование пластовых вод нефтяных месторождений, исключительно богатых радием (10^{-9} , может быть $10^{-80}/\%$ — $10^{-100}/\%$). Такие воды были открыты около Гейдельберга проф. Беккером в 1922 г. порядка $10^{-100}/\%$ Ra , а позже воды с 10^{-9} и даже (?) $10^{-80}/\%$ Ra (в Грозном В. Милиным и В. Тверцыным).

Явления находятся в стадии изучения, и ряд исследований организован с 1930 года Радиевым Институтом в Ленинграде. Открывается новая область явлений, ставящая ряд, пока неразгаданных интересных проблем. Пока можно лишь утверждать общность этого явления для соленых пластовых вод нефтяных месторождений. Одновременно выяснилось нахождение мезотория и $Th X$ во всех этих водах, впервые установленное А. А. Черепенниковым и В. И. Барановым для вод

Ухты. Начинает открываться новое большое природное явление, которое будет мною рассмотрено в главе о геохимии воды.

475. Для подавляющего большинства вод, кроме морской воды и некоторых рассольных озерных вод, остается в стороне и не входит в жизнь тот минералогический и физико-химический метод, который связан с изучением их кристаллизации. Он дает—при углублении—возможность применить к изучению вод учение о физико-химических равновесиях.

Я указывал уже (§ 453) на то значение, какое имело в этом отношении изучение Узилио по указанию Малагути испарения (и кристаллизации) морской воды.

По отношению к другим водам этот метод исследования применялся случайно, в единичных случаях.

Так в 1902 году мне и С. П. Попову удалось этим путем выяснить нахождение бора в сопочных водах, в 1910 году Г. Лейтмейер выявил (к сожалению не до конца) своеобразный характер минеральных вод из Рогга в Штирии, воды $O-Na-Mg-S-C$ (§ 72), приводящий к выделению водных карбонатов магнезии.

Несомненной представляется необходимость широкого и систематического применения этой методики исследования—особенно к минеральным водам и к водам пресным вообще.

Надо ждать, что здесь откроются перед нами очень тонкие и своеобразные черты их структуры, которые могут свободно быть охвачены количественной научной теорией.

476. Еще одно явление едва начинает привлекать внимание—изучение жидких компонентов (§ 203) главным образом, повидимому, органических веществ.

Органические вещества минеральных вод в буквальном смысле слова *terra incognita*. Несмотря на их малые количества, значение их—бальнеологическое—может быть огромно. Оно должно быть огромно и в геохимическом эффекте.

В одной из последних речей (1871) великого ученого Роберта Майера находятся в этом смысле замечательные мысли, не получившие до сих пор движения в научной среде. Майер считал, что в органических определенных соединениях, частью улетающих с парами воды минеральных источников, заключается во многом, вероятно, разгадка их целительного действия. Их надо вспомнить в этом историческом наброске, так как возможно, что они указывают на путь будущего.

Количество жидких компонентов в поверхностных водах (например, черные реки тропиков или бурые воды приполярных стран) огромно, но химическая сторона едва затронута.

Работы 1906 года финляндского химика О. Аскана—важные, хотя и недостаточные—не вызвали пока отклика: они единственные, которые дают нам понятие об одном частном случае.

Значение органических веществ в природных водах поднято и в связи с проявлениями жизни. Д. Боттомлей (1914) поднял вопрос об их необходимости для хлорофильных растений, Пюттер (1907)—для питания морских организмов. Это все пионеры в огромной, заброшенной научной мысли, области важных явлений.

477. Есть одна область подземных вод, которая, несмотря на то, что имеет большое практическое значение, находится до сих пор в хаотическом состоянии, так как она не охвачена в нужной мере научной критической мыслью. Это те воды, которые в этой книге разделены на три подцарства—пластовых вод, подземных водоемов, восходящих вод; обычно первые два подцарства объединяются вместе, и к ним безразлично переносятся явления, установленные для одного из них, благодаря чему получается не отвечающая фактам картина явлений. Сюда относится огромная область вод, знакомство с которыми все усиливается, благодаря увели-

чению работы бурения. Как уже указывалось (§ 129 и сл.), здесь проявляется огромная работа человечества, меняющая установившийся ход явлений, идущих глубже биосферы — в стратисфере.

Основные представления в этой области были установлены несколько столетий тому назад. Галлей в конце XVII века (§ 408—409) связал значительную часть этих вод с водами метеорными. Иное происхождение другой их части проникло в науку в XIX столетии — компоненты, связанные с магмами, были научно установлены Шеерером и Э. де Бомоном (§ 422). Другие иногда более или менее фантастические, натурфилософские построения того же характера не прерывались в науке с XVI—XVII столетия. Значение геологически древней морской воды в их структуре было указано впервые, кажется, румынским геологом Мразеком, в связи с изучением буровых нефтяных вод Румынии, и затем развито американскими геологами. В этой книге вносится поправка на характер этой воды не как простой морской, а как метаморфизованной морской иловой воды (§ 696), и в то же время этот процесс выявляется как часть закономерного непрерывно действующего механизма земной коры.

478. В 1830-х годах Р. д'Андримон в очень важном мемуаре, не сразу обратившем на себя внимание, но оказавшем в дальнейшем огромное влияние, указал на невозможность объяснить движение подземных вод, исходя из законов движения жидкостей (капельножидких), математически глубоко разработанных в начале XIX века рядом выдающихся математиков и механиков. Он ввел понятие о пленочном строении вод водопроницаемых горизонтов и, введя таким образом новые поправки, позволил глубже применить математический анализ к этим явлениям.

Идея д'Андримона о существовании, наряду с капельножидкой водой и водой волосных пространств, воды пленочной имела огромное значение и в другой области — в почвенных растворах и привела в конце концов к обобщению А. Ф. Лебедева (§ 461), выяснившего основную структуру равновесия: твердые тела $\rightleftharpoons$ природные растворы.

Она же позволила разрешать для заданий практической жизни ряд вопросов, связанных с движением подземных (пластовых) вод.

Это движение было открыто, изучалось эмпирически и по существу вошло в научное сознание в начале XIX века; работы д'Андримона были одним из проявлений долгой многовековой работы.

Чрезвычайная медленность этих движений отличала эти воды от поверхностных вод, на изучении которых в течение многовековой инженерной работы и на физическом эксперименте, с этим связанным, выросла приложимая к этим водам гидравлика. Уже ученик Галилея Б. Кастелли (1628) свел и научно обработал практические достижения, главным образом работы итальянских инженеров; Галилей и ряд крупных физиков, математиков, инженеров XVII—XIX веков дали точную научную базу этой отрасли знания.

479. Раньше, чем было научно охвачено движение подземных вод, встал вопрос о их нахождении в тех случаях, когда они не имели стока на поверхность. Многотысячелетняя, в разной форме в разных странах была выработана своя эмпирическая техника. Накоплялись грубо эмпирические наблюдения, которые вместе с волшебной палочкой, употребление которой прослеживается на тысячелетия, позволяли своеобразным, богато одаренным искателям воды не случайно находить невидные глазу, глубоко лежащие, верховодки и пластовые воды, вплоть до вод стратисферы. Волшебная палочка стала входить в признание геологов с конца XIX столетия, особенно с XX. В 1932 наблюдение Леманом (G. Lehmann) совпадения с ее указаниями характера теллурических электрических токов, как будто, открывает возможность дальнейших усовершенствований.

В начале XIX столетия основные черты векового опыта были сведены талантливым наблюдателем-эмпириком, искателем вод аббатом Парамеллем; он первый уяснил связь подземных вод и главным образом верхних пластовых вод, верховодок—по терминологии этой книги, с морфологией земной поверхности и в частности с распределением водных бассейнов поверхности суши. Речные системы могли быть связаны с медленнодвигающимися подземными пластовыми водами, при чем, как это постепенно выяснилось, движения этих систем независимы друг от друга и подчиняются разным законам.

Создание точной геологии в первой четверти прошлого века, а вскоре—в половине XIX века гидрогеологии—дало более прочные основы для выяснения распределения подземных вод.

Гидрогеология позволила работать в этой области с точностью недоступной вековой эмпирии.

480. Для глубоких напорных вод явились новые вопросы. Давление, с которым эти воды, а также самоизливающиеся источники подходят к земной поверхности, было правильно выяснено еще в XI столетии персидским ученым А. М. Р. Аль Бируни (973—1048), как давление гидростатическое. Но в современную научную мысль это понимание вошло в XVII веке, после того как понятие о гидростатическом давлении жидкостей было точно установлено Стевином и, независимо, позже Паскалем (1651) и после того как Мариотт (1686) применил эти идеи к природным источникам. Однако лишь в XIX веке это объяснение получило реальное значение в понимании пластовых вод—после работ Герикар де Тюри (L. Hericart de Thury. 1776—1854), связавшего это физическое понятие с геологическим строением местности и выявившего основную методику геологической работы (1823).

481. Однако, как теперь ясно, основные представления как по отношению к верхним, так и по отношению к нижним пластовым водам, не могут быть отнесены ко всем подземным водам, которые достигаются человеком при помощи колодцев или бурением.

И хотя это далеко не сознается сейчас большинством геологов—в действительности в историческом ходе научной работы этот факт может считаться установленным.

Прежде всего он установлен для вод, связанных с разведением, растворением легко—в порядке геологического времени—растворимых горных пород, например, известковых, соляных, гипсовых.

Здесь в конце концов ясно выявилось, что в этих областях нельзя говорить о водах сложной структуры пленчато-капельножидких, но можно и нужно считаться с такими же капельножидкими растворами, какие мы имеем на поверхности. Можно и должно считаться здесь с подземными лужами, реками, озерами—многие из которых в таких местах, как Греция, наблюдались уже древними натуралистами.

В первые же годы XIX столетия, в эпоху создания новой геологии—вопросы денудации обратили на себя очень серьезное внимание. В конце концов выяснилась область карстовых строений земной коры и особый характер связанных с ними вод. В начале XX века в точном синтезе сербского ученого Цвиича превосходно выяснены основные черты свойственной им геоморфологии. По отношению к водному режиму много сделано австрийским ученым Краусом и французом Мартелем.

Карстовые явления не единственная форма подземных вод. Другая (вероятно гораздо более мощная) обратила на себя внимание гораздо позже—это нахождение вод (иногда очень мощных) в водонепроницаемых породах массивных и кристаллически слоистых в доступных бурению частях биосферы и стратисферы. На значение этих вод обратили внимание давно, напр. в 1820-х годах Бекланд в Англии; но в понимание геологов ввел их А. Норденшильд (1894) и независимо у нас И. Кобец.

кий (1895). Область этих явлений начинает охватываться научной работой только в последние годы. Это огромное явление в истории природных вод должно, мне кажется, быть отделено от вод пластовых, что и делается в этой книге (§ 371, 382).

Его изучение, и в частности химическое исследование этих вод, должно дать много нового.

482. Химия твердых и газообразных фаз воды и тех промежуточных, которыми являются ее гели (§ 150 сл.) или ее формы — пленочные и волосные в минералах и горных породах, — гораздо менее обращала на себя внимание и находится в менее разработанном виде, чем химия жидких ее фаз.

Особенно далеко стоит от нашего теоретического понимания химия газообразных фаз природной воды, закономерных смесей паров воды, заключающих сторонние воде вещества, многие из которых находятся в парообразном состоянии только в присутствии паров воды. О малом понимании нами химического строения богатых водою газообразных масс высокой температуры и большого давления, я уже указывал раньше. Нам приходится пока принимать как факт такое состояние наших знаний для этих форм природной воды и учитывать его при описании явлений.

Для твердых минералов воды наши представления значительно подвинулись за последнее десятилетие, но и здесь успехи менее значительны, чем для других семейств химических соединений, благодаря трудности применения для льдов самых могущественных наших методов исследования — оптических и рентгенологических.

Но здесь уже выясняется область исследования — естественные тела, подлежащие изучению, — чего нельзя утверждать для парообразных водных форм.

483. Мы уже видели то значение, какое приобрели атмосферные осадки и пары воды, из которых они сгущаются, в тех больших основных равновесиях воды биосферы, которые в конце концов были в конце XVII века ясно и определенно установлены Галлеем (§ 409).

Газообразный характер водных паров, их количественное определение, их географическое распределение в биосфере, первые законы, связанные с температурой и с барометрическим давлением, были уже охвачены научной мыслью к концу XVIII столетия. В это время эта область явлений — гигрометрия — была охвачена математическим анализом и первыми математически выраженными законами (Дальтон). Основным достижением с точки зрения истории природных вод явилось установление существования и огромной роли газообразной воды в атмосфере и ее отражение на всех процессах, идущих в биосфере. Это было создано огромным трудом и вошло в сознание в самом начале XIX столетия, в конце XVIII века. В 1799 году знаменитый химик и физик Д. Дальтон (§ 415) думал, что он первый доказал существование в воздухе газообразной воды, но уже во втором издании своих *Meteorological Observations* (1834) он признал независимое выяснение этого явления Де Люком. Теперь мы видим, что за 30 слишком лет до Дальтона существование газообразной, невидной глазу, воды в воздухе было уже ясно Ле Руа (С. Le Roy. 1726 — 1779), французскому врачу и натуралисту. Ле Руа, братья женеvцы Делюки (J. A. Deluc. 1727 — 1817, G. A. Deluc. 1729 — 1812), женеvец Г. Де Соссюр (H. B. de Saussure 1740 — 1799), англичане Дальтон и Даниэль (J. Daniell. 1790 — 1845) независимо с разных сторон выяснили это основное, столь нам сейчас самопонятное, явление в истории природных вод и в окружающей природе — ведя наблюдение в живой природе, в лаборатории, изобретая приборы и подвергая опыт и наблюдение математическому анализу.

В сущности отдельные глубокие натуралисты XVII века, как О. фон Герике и Р. Бойль, ясно понимали это явление (§ 409). Но оно могло войти

в научную мысль только после того, как понятие газа, газового состояния материи вошло в общее сознание. Это было достигнуто в конце XVIII столетия великими химиками и физиками — Блеком, Кавендишем, Пристлеем, Лавуазье, Шееле.

Научное понимание воздушных водяных паров, как газа, реально ввели в сознание Делюк и Дальтон.

Уже они сталкивались с явлением росы. Но раньше в 1751 году Ле Руа, исходя из своих представлений, что вода „растворяется“ в воздухе, как сахар в воде, положил начало современной теории росы, как выделению излишка насыщающей воздух воды благодаря местному охлаждению. Опыты Ле Руа были забыты, и их значение восстановил уже в конце XIX века (1879) физик Жамен.

Через 60 лет позже Ле Руа — уже в новом выражении явлений при понимании существования газообразной воды — основные черты учения о росе были в 1814 году даны английским врачом В. Уэльсом (W. Wells. 1757 — 1817), наблюдавшим природу как в области подтропических (Флорида), так и умеренных стран. Уэльс установил рядом ясных и изящных опытов около Лондона, что выделение росы является следствием охлаждения предметов, благодаря тепловому лучеиспусканию суши в тропосферу и положил этим основание пониманию явления. До него рассматривали росу, как причину охлаждения. Опыты и выводы Уэльса были подтверждены многочисленными наблюдениями физиков, среди которых выдвигаются опыты итальянца М. Меллони в 1847—1848 г. (M. Melloni. 1798 — 1864).

Из выявления росы, как следствия теплового лучеиспускания, неизбежно вытекает вопрос об источнике ее капельножидких масс. Одним из них является водяной пар воздуха, но другим должно признать выделяющиеся при охлаждении капли воды из окружающих предметов — и в первую голову из живых организмов, в том числе из растительных скоплений.

Значение с этой точки зрения организмов несомненно, но механизм процесса неясен. Может быть, здесь играют роль так называемые гигроскопические явления, значение которых установлено для выделения дождевых капель (§ 486, 578) и для органогенных растворов (§ 912).

Химия всех этих вод действительно заслуживает изучения; ее, можно сказать, нет.

484. Позже, уже в конце XIX, в начале XX столетия, выявилось значение подземной росы, водяных паров, поднимающихся снизу. Этому явлению придавали большое значение в XVII столетии, напр. Декарт (§ 411), в том основном круговороте поверхностных вод, который был установлен Галлеем (§ 409). Через 160 лет после Декарта немецкий инженер О. Фольгер попытался в 1877 г. вновь доказать значение водяных паров, идущих из почвенных слоев и глубже. Одновременно, независимо хронологически, иногда позже (1870—1880 года) — началось изучение почвенной росы — паров почвенного и подземного воздуха — частью в связи с изучением механизма наземной росы (Aitken в Шотландии), частью в связи с влажностью почвы (русские исследователи — Головкинский, Измайльский и др.). В конце концов грандиозные схемы Фольгера оказались неверными, но явление почвенных и подземных паров получило большое значение. Решающую роль играли работы А. Ф. Лебедева над почвенным воздухом (1913—1928), приведшие его к выявлению структуры подземных вод (§ 461).

Роль водяных паров подземного воздуха осталась, однако, незатронутой.

Подземная роса и гигроскопичность подземного воздуха — невидные пары воды, в нем находящиеся, — явления тесно связанные, но различные.

Влажность подземной тропосферы не изучена, как не изучена сама подземная тропосфера. Мы не знаем точно, как глубоко она идет в глубь земной коры и насколько мощным явлением она является.

Ее изучение в аспекте истории воды может принести много неожиданностей.

Неясны и явления подземного инея.

Подземная тропосфера самая верхняя из подземных атмосфер. Понятие подземных атмосфер и преобладание в них водяных паров впервые вводится в этом сочинении.

485. К концу XIX века вошло в общее сознание научно правильное представление о строении облаков и туманов. Их научное изучение началось в XVIII веке, но более точные данные могли быть получены лишь после того, как выяснилась закономерность — можно сказать индивидуальность — этих тел. Ясно уже подходил к классификации облаков и различению их форм, в связи с вертикальным строением атмосферы, знаменитый натуралист и философ природы Ламарк в своей упорной наблюдательной работе, совершенно непонятой современниками, работе, доставившей ему лишь насмешки и огорчения. Несомненно и в этой работе Ламарка — как и в некоторых других — было много неясного и ошибочного — глубокого непонимания на ряду с еще более глубокими прозрениями, но он шел по новому пути и правильно указал (1801) на закономерность форм облаков в связи с погодой. Основы современной классификации облаков дал почти одновременно в 1803 году англичанин квакер Л. Говард (L. Howard), положивший этим начало точному наблюдению новой области природы. Уже в это время выяснилась необходимость международной организации наблюдений погоды — в том числе и облаков, которая получила осуществление много позже, во второй половине XIX века и которая становится на прочную научную почву только в нашем столетии.

Природа самих облаков выяснилась позже. Уже в XVIII веке велся спор о том, являются ли облака состоящими из жидких капель или из газовых пузырьков с жидкой оболочкой. В 1847 г. крупный английский физик Г. Стокс неопровержимо доказал строение облаков из капель жидкой (и твердой) воды, но лишь к концу века оно стало общепринятым. В 1895 году П. Кулье указал, что для такого сжижения паров воды необходимо присутствие в воздухе сторонних воде тел — центров сжижения, которыми в конце концов оказались в значительной мере ионы и заряженные электрическими зарядами пылинки. Работы Кулье не сразу вошли в жизнь. Вся эта область явлений вошла в научное сознание и подверглась точному изучению лишь после работ шотландца Г. Айткена (H. Aitken) в 1880 и следующих годах.

Гидрохимические явления, связанные с этими гидрометеорами, меньше всего обратили на себя внимание (§ 577). Здесь открывается новая огромная область работы — дело будущего.

486. Перед нами начинают вскрываться любопытные новые химические и физико-химические явления. С одной стороны, размеры этих капель могут быть так малы, что они не переходят в пар, неся электрические заряды (Д. Томсон). В них преобладают поверхностные силы над теми, которые проявляются в структуре обычной воды (§ 61). Затем в их состав входят гигроскопические вещества, резко меняющие их химические свойства. Кажется впервые в 1910 году А. Вегенер указал на этот химический процесс, делающий возможность сгущения водяного пара в жидкость в условиях атмосферы.

И наконец, они могут застывать в коллоидальные шарики (в отсутствии гигроскопических веществ?), т. е. собрание мицелл, в которых на первое место выступают поверхностные силы кристаллов воды, мало проявляющиеся обычно в истории воды в земной коре.

Эти своеобразные и по морфологическому характеру и по химическому составу капли жидкой и шарики твердой воды, жидкая пыль, носящаяся среди газообразных масс воздуха, входят в системы, в которых они игра-

ют роль мицелл. Поэтому к этой области туч и туманов начинают с успехом применять законы коллоидальных растворов и эмульсий — областей проявления поверхностных сил. Вскрывающиеся между аэрозолями и гидрозолями аналогии не только формального характера. Корни их в тождестве формы процессов. Одним из первых на характер аэрозолей указал И. Скворцов (1911).

487. Так как источником паров воды является ее испарение, то химический состав их сгущений — жидких масс — должен быть отнесен к пресным водам, бедным сторонними компонентами. Химические свойства этой жидкой пыли проявляются и другим путем — в легком, относительно, разрушении молекулы воды в аэрозолях, сопровождаемом интенсивным обменом энергии и созданием химически очень активных новых соединений.

Вероятно в химии природных вод реакции распада молекул воды в воздушной среде, так же, как и противоположные реакции их синтеза, идущие в атмосфере помимо тех явлений жизни (§ 325—326), которые тоже связаны с синтезом и распадом воды, — играют очень большую роль. Сейчас невозможно учесть их значение: это настоящая задача ближайшего будущего. Нужно в связи с этим отметить этапы будущей работы, первые указания фактов, сюда относящихся. Повидимому, мы имеем здесь довольно резко выраженные явления равновесия: идет распад молекулы H_2O на H_2 и O_2 — с одной стороны, а с другой — синтез H_2O из этих газов. Не исключена возможность связи этих процессов с образованием озона и особенно перекиси водорода, но это не может считаться точно установленным. Синтез воды из кислорода и водорода должен происходить в воздухе при действии тихих разрядов электричества (в лаборатории установил М. Бертелло. 1879) и радиевых солей (в лаборатории указал впервые С. Pickel. 1904). Очень возможно, что в стратосфере эти реакции могут иметь значение, и в виду малого количества водорода в тропосфере возможно, что они имеют место при распаде молекул воды, сводя в значительной мере это распадение на замкнутый круговой процесс, благодаря одновременному ходу обратного процесса. Это разложение идет под влиянием тихих электрических разрядов (в лаборатории Déhéraïn и Maquenne. 1881), ультрафиолетовых излучений (в лаборатории М. Kernbaum. 1911) и радиевых соединений (W. Ramsay. 1903).

Очень возможно, что мы имеем здесь указание на едва затронутое наукой, грандиозного значения геохимическое явление в истории нашей планеты (§ 61).

488. Все эти явления синтеза и распада молекул воды находятся в теснейшей связи с электрическими процессами атмосферы, которые помимо этого имеют и другие проявления, имеющие значение в гидрохимии природных вод.

Мы входим здесь в область мало изученных явлений ионизации.

Таким путем созданная ионизация атмосферы обуславливает электрические поля земли. Мы не знаем полностью химического состава ионов: повидимому, газы воздуха сами могут давать ионы при этих условиях, но едва ли можно отрицать, что главная масса ионов так или иначе связана с плавающими распыленными молекулами воды. Однако мы до сих пор не знаем, в какой степени водные ионы преобладают в атмосфере над газовыми. Лишь в самое последнее время работы Д. Томсона и Нолана начинают вскрывать их значение (§ 61).

Но и другим путем — не заряженных водных капелек — электрическое поле земли вызывает в тучах — скоплениях этих капелек — мощные напряжения грозowego электричества, приводящего к процессам распада молекул воды — к образованию озона и к мощным перемещениям энергии. Здесь в последнее время начинается новая эра работ, которая несомненно внесет много нового в историю природных вод.

489. Последняя подгруппа природных вод — твердые их фазы — снег и лед — медленно охватывалась научным знанием.

Ученые севера Европы, жители горных областей — в странах, где развилась современная научная мысль, — сталкивались с ними на каждом шагу в окружающей их природе, как с обыденным явлением.

Уже в первой половине XIII века в Норвегии в ученой энциклопедии неизвестного автора, вероятно придворного капеллана, в „Королевском зеркале“ на древне-норвежском языке сведены в научном охвате любопытные эмпирические бытовые наблюдения в этой области.

Написанная на мало доступном языке книга оказала мало влияния на научную мысль средиземноморского научного центра.

В нем научное изучение твердых фаз воды, как минеральных образований, исходя из той же бытовой обстановки, началось много позже и развивалось медленно.

Можно различить четыре или пять главных течений научной работы в этой области. Во-первых, объектом ее явились обыденные метеорологические явления, связанные с зимней природой нашего климата; во-вторых, области полярных морей и связанных с ними плавающих ледяных гор, горные области, покрытые вечным снегом и ледниками, вечно мерзлая почва континентов и наконец ледяные и снежные массы, покрывающие приполярную сушу и замерзшие моря.

Картина и грандиозность явления в целом выяснились в течение поколений от пробуждения в XVI столетии научного отношения к окружающей природе до XIX столетия, когда систематическая научная работа охватила все явление в целом.

Вопросы минералогические и геологические выдвинулись поздно — чисто описательная, главным образом географическая, частью метеорологическая и океанографическая сторона явлений долго обращала главное внимание.

Твердые фазы воды с точки зрения химии планеты в обоих их проявлениях — в минералогии и в геохимии — мало подверглись научной обработке. В течение веков, особенно в нашем столетии, собрался однако огромный материал, позволяющий сейчас иметь первую общую картину явления.

Собранный огромный, не систематизированный материал, однако недостаточен, ибо он собирался под разным углом зрения; всюду видны пропуски и пустые места.

Особенно чувствуется недостаток правильно и полно проведенных химических анализов.

490. Все факты получились на фоне выявления основных больших физико-географических явлений, связанных с нахождением твердых фаз воды в биосфере. Эти находения часто столь обширны и разнообразны, что привели к созданию отдельных научных дисциплин. Попутно выяснялись и изучались некоторые стороны минералогии и геохимии снега и льда.

В самом начале XIX века выявились основные черты природы тех областей, где царят лед и снег. В это время открыта Антарктика (в этом видную роль играли русские мореплаватели), с конца XVIII века вновь узнана природа Гренландии, с начала XVIII века началось научное изучение севера Сибири, с конца века и с начала XIX века начались энергичные исследования севера Северной Америки. С конца XVIII века началось неуклонное стремление достигнуть сперва северного полюса, в XX веке — южного. Задача эта достигнута работой и мыслью поколений. В 1909 году американец Пири достиг северного полюса, в 1911—12 (декабрь — январь — разница в днях) сперва норвежец Амундсен, потом англичанин Скотт достигли южного. В конце концов научно охвачена снежная и ледяная природа приполярных стран. В работах А. Добровольского (1924)

впервые твердая фаза охвачена как закономерная часть строения земной коры, как криосфера (§ 58). Это представление ясно вытекает из данных минералогии воды, в этой книге излагаемых.

491. В тесной связи с этими исследованиями установлены были два явления, играющие большую роль в истории природных вод.

С одной стороны, выявлена научная картина ледяных плавающих гор (айсбергов), причина которой — связь с материковыми льдами — была правильно выяснена уже к середине XVIII столетия М. В. Ломоносовым. Исследования начала XIX века — лорда Д. Росса, Скоресби и др. выявили основную черту явления — правильное, непрерывное вхождение их в океаны от приполярных стран, определили границы, до которых они достигают, и колебания в количестве льда. Росс старший открытием „Великого барьера“ — огромной, мало подвижной массы льда и снега у Антарктики — вскрыл новое явление, редкое в нашу эпоху, характерное для ледниковых периодов (§ 58). Механизм движения ледяных гор был выяснен только в XX веке в своем значении гл. обр. Крюмме-лем. В Датской метеорологической обсерватории с конца XIX века организована регистрация этих явлений для арктической области — для Атлантики.

492. Другим явилось констатирование огромных областей, занятых подпочвенной и почвенной мерзлотой, и новых явлений природы, с ней связанных.

С ними столкнулись русские землепроходцы в XVI—XVII столетиях, но в науке знание вечной мерзлоты связано с русскими государственными экспедициями в Сибирь — сперва Мессершмидта (1715. Опубликованы пленным шведским офицером Страленбергом. 1730), потом Гмелиным (1738—1741) в эпоху Великой Сибирской экспедиции.

Оно вошло во всем своем большом масштабе в науку много позже в XIX—XX века. В начале XIX века в первом русском кругосветном путешествии Горнер и Крузенштерн встретили вечно замерзшую почву в Азии и Америке, позже в экспедиции „Рюрика“ натуралисты Шамиссо и Эйхгольтц описали лед среди слоев почвы в Аляске; их наблюдения долго отрицались. Также с трудом и с возражениями проникли в научное сознание первые научные исследования вечной мерзлоты Сибири академика К. М. Бэра в 1830-х и А. Ф. фон Миддендорфа в 1840-х годах. Только после их работ существование этого явления в далеких от вечно-снежных полярных стран областях было признано. А сейчас оно открывается нам во всей своей мощности и вскрывается, частью как отголосок последнего оледенения Евразии и Северной Америки. Химически эта форма воды не изучена. Работы Бунге и Толля на присибирских островах в конце XIX столетия и русских ученых, инженеров и геологов, в связи с проведением Сибирской железнодорожной магистрали — вскрыли новые явления природы, все значение которых в истории природных вод еще не учтено научной мыслью. В 1926 году сводка М. И. Сумгина поставила этот вопрос в центр внимания, и с 1930 года положено начало организации его систематического исследования при Всесоюзной Академии Наук.

493. Основное решающее значение имело для познания природного льда создание гляциологии, науки о льде, и изучение оледенений суши, основанием которого явилось тщательное и точное изучение горных ледников, начатое в Альпах.

Сейчас можно проследить медленный, но непрерывный ход научной работы, приведший к одному из основных представлений в истории нашей планеты — к ледниковым периодам.

Изучение ледников Альп началось в конце XV и в XVI столетии, когда научная мысль обратилась к изучению окружающей природы. Уже в начале XVIII в. крупный местный натуралист Шейхцер (J. Scheuchzer. 1672—1733) дал сводку наших знаний, из которой мы сейчас ви-

дим, что в литературе были уже тогда довольно точные указания о влиянии глетчеров Альп, хотя очень немногие из ученых имели о них реальное понятие. О их движении уже знали. К концу XVIII века эти знания увеличились, и отдельные швейцарские ученые уже имели, хотя еще и неясное, представление о перемещении ледников (J. Bordier. 1773) и об их большом прежнем распространении. Благодаря работам Г. де Сосюра (H. de Saussure. 1740—1799), сведения о глетчерах вошли в научную мысль, и уже в 1802 году И. Плэйфер (J. Playfair. 1748—1819) впервые указал в них силу, более мощную, чем реки в производимой денудационной геологической работе. Плэйфер имел — кажется, единственный из современников — ясное представление о значении этих явлений в общеземном масштабе. Лишь через десятки лет позже эти вопросы стали на очередь научной работы и коренным образом повлияли на наше научное миропредставление.

В 1820—1830-х годах началось то движение, которое привело к современным представлениям и к выяснению картины явления, причина которого до сих пор является еще неясной. И. Венетц (1788—1859) первый в 1821—1833 гг. положил им основу.¹ Он доказал прежнее широкое развитие ледников за пределами их современного развития и ими объяснил широкое распространение валунов в Альпийской области и на севере Европы. Позже, в 1830-х годах, уже под влиянием работ Венетца, начались работы И. Шарпантье (J. de Charpentier. 1786—1855) и Л. Агассица (1807—1873), которые были независимо обработаны и появились почти одновременно (1841) — „Essai sur les glaciers“ Шарпантье и „Etudes sur les glaciers“ Л. Агассица.

Вопрос о существовании ледникового периода был поставлен особенно ярко Агассицом, и новое представление, встретившее большие возражения и окончательно охватившее научную мысль в 1870-х годах, сейчас же получило множество подтверждений и сторонников. Одновременно надо отметить двух исследователей, исходивших в значительной части из других данных. Один — ботаник К. Шимпер (K. Schimper. 1803—1867), в это время друг Агассица, пришедший к заключению (1837) из ботанических соображений о существовании периодически повторявшихся времен в истории Земли, благоприятных и неблагоприятных развитию растительности. Проявление того же явления он видел в периодах развития и отхода ледников. Он связал таким образом ход ледников с биологическими явлениями. Ему, по видимому, принадлежит идея о ледниковом периоде в истории земли, совместно создавшаяся с Л. Агассицом и последним установленная. Другой был А. Бернгарди, не знавший о работах швейцарских глациалистов, но связавший рассеянные всюду в Европе и Америке валуны и сопровождающие породы с постепенным отходом арктических ледников, являющихся остатком некогда бывшего огромного оледенения Европы и Америки (1832).

В 1838—1848 годах Ш. Мартен (1806—1889) установил огромное распространение ледников в прежнее время в Скандинавии и впервые выдвинул значение поддонной морены, покрывающей огромные площади материкового оледенения, в отличие от альпийского (1842). Впервые был захвачен — сперва бессознательно — тот центр, из которого исходил ледниковый покров послеплиоценового оледенения Европы — Фенноскандия.

¹ Еще раньше, в 1815 году, идеи о более широком распространении ледников в Швейцарии сообщал, в разговоре с Шарпантье (J. de Charpentier), местный охотник за сернами Ж. Перроден (J. Perraudin), очевидно глубокий наблюдатель природы. Это любопытный, редко отмечаемый в литературе случай научных эмпирических обобщений, на которых строится вековое „народное знание“. Всякий натуралист знает, какое значение имеют часто указания местных любителей — долгодетных наблюдателей природы в их работе в той стране, где идет их экспедиционное исследование „наездом“.

494. В 1850-х годах был поставлен вопрос о существовании ледниковых явлений в другие геологические периоды: в 1855 г. А. Рамзай (A. C. Ramsay. 1813—1891) пытался доказать это для пермских отложений Англии, в 1856 году В. Бланфорд (W. Blanford. 1832—1893) — для Индии. Если наблюдения Рамзая встретили серьезные возражения, то Пермский ледниковый покров в Индии может считаться первым установленным случаем периодически повторяющихся ледниковых периодов (§ 65).

В 1866 г. в работах, не вошедших, как они заслуживали, в научное сознание, П. А. Кропоткин выявил широкое распространение явлений древнего оледенения на севере Азии, в Восточной Сибири. Эти наблюдения были подтверждены местными исследователями (Чекановский, Михаэлис), но эти и другие наблюдения были оставлены позднейшими исследователями в стороне. Только недавно работы, главным образом, русских геологов в Сибири вновь возбудили внимание к идеям Кропоткина, и в 1930 году сводка В. А. Обручева выявила вероятную грандиозность процесса, сразу сильно увеличивающего площадь оледенения северного полушария.

П. А. Кропоткин прервал свою работу над ледниковым периодом в самом начале, когда она развигывалась — в 1870-х годах. Но работы его и Ф. Б. Шмидта (1869—1871) указали с несомненностью на Скандинавию как на страну, откуда двигался главный ледниковый покров в постплиоценовое время в нашей стране и вообще на Европейском материке. Почти одновременно блестящими наблюдениями О. Торреля (1872—1875) это было окончательно установлено.

В 1870-х годах в Ю. Африке (Сутерланд, Е. Денн. 1870, 1873), позже в Бразилии и Австралии выявились остатки того же пермокарбонowego оледенения в Южном полушарии, которое было отмечено, как мы видели, в Индии. К концу века эти и разнообразные другие указания в разных странах привели к утверждению научного сознания о периодичности ледниковых периодов в течение геологического времени и о их независимости от современной картины климатов.

С тех пор гляциология и в частности четвертичное время изучаются со все растущим успехом; к XX веку создался ряд организаций международного характера, которые еще более усилили значение этих знаний. Исследование Гренландии и Антарктики открывает все новые и новые черты явлений.

495. Несмотря на огромное внимание и на большую работу в области гляциологии мы еще не дошли до полного понимания значения пульсаций криосферы.

В период ее максимального расширения (ледниковый период) все равновесие водных масс во всей биосфере резко нарушается. Проявления этого нарушения очень различны. Ярким примером являются связанные с образованием и таянием ледников колебания уровня Океана (Ch. MacLagen, американский геолог. 1842). Эти идеи долго не обращали на себя внимания. В 1865 г. шотландский геолог, работавший вне высшей школы и научных организаций, Т. Джемисон (T. Jamieson) связал с таянием и с накоплением льда вековые движения суши — ее опускания под тяжестью ледников, ее поднятия при их исчезновении. Теоретические выводы и приложения к наблюдению в 1868 были развиты А. Тэйлором (A. Taylor) и другими. Но лишь в XX столетии выяснилось все значение этих явлений. Американец Дэли (1922), независимо от Макларена, связал с великим плейстоценовым оледенением колебания уровня Всемирного океана — всей гидросферы, В. Рамзай (1924) — на примере Фенноскандии, с которой мы связаны, дал синтез работ вековых колебаний для суши и морей в связи с ходом оледенения.

Еще только выясняется значение жидких фаз воды в ледниковом периоде — при их зачинании, при их максимуме и при их замирании. П. А. Кро-

поткин (1869—1872) был один из первых, которые указали на отражение этих оледенений в областях, захватываемых и освобождаемых ледником. Здесь развиваются своеобразные озерные пресноводные бассейны, нередко занимающие огромные площади (озерной период Кропоткина), и дают начало несуществующим ныне формам речных систем.

На другую сторону явления — на дождливые периоды в областях, прилегающих к ледниковым покровам, было обращено внимание позже. Впервые А. Пенк установил это для Средиземноморья в 1913 году. Почти одновременно, но позже африканские геологи обратили внимание (Шварц и др.) на широкое развитие озер и осадков в южном полушарии. В общем охвате выявил это явление для всей планеты Г. Симпсон (1930).

Значение этих исследований ледниковых периодов, привлекавших внимание физиков, геологов, географов, для истории природных вод заключается в том, что оно позволило восстановить существование на нашей планете ледниковых периодов (учитывая и дождливые) даже в их частностях и выяснить те крупнейшие изменения, которые в них характерны для воды. В конце концов оно позволяет связать современную картину биосферы, в частном случае ее минералогии и геохимии, с последним ледниковым покровом, исчезнувшим геологически недавно в историческое время. Как я уже указывал, мы живем в эпоху его замирания (§ 29, 68 и сл.).

В истории природных вод влияние ледяных покровов отражается не только на наземных, но и на подземных водах, что устанавливается в этом сочинении.

Под влиянием охлаждения покрытых льдами областей суши термометрический градиент их медленно падает, массы холодных вод идут на большую глубину, например, около Верхних озер или вероятно у нас в Прибайкальи.

496. В настоящее время в обзоре минералогических и геохимических проблем, даже обсуждая их с чисто химической точки зрения, нельзя оставлять без внимания кристаллографической структуры. Силы кристаллические суть силы химические.

Наши знания по кристаллографии воды, несмотря на огромную работу, очень неполны.

Физические свойства снега и льда были для приполярных стран научно отмечены в основных чертах уже Скоресби в начале XIX столетия. Уже тогда Д. Брюстер дал первые кристалло-оптические исследования. Кристаллическая система была определена в общих чертах в XIX веке (А. Норденшильд, 1860), но только сейчас, при применении рентгенограмм, были получены более точные цифры. И все же и до сих пор кристаллический класс воды и ее кристаллохимическое строение не могут считаться окончательно выясненными. Несомненно существование оси симметрии 3-го порядка, но отсутствие центра симметрии, не выявляемое в рентгенограммах, резко выражается в часто проявляющемся гемиморфизме.¹ Существование или отсутствие центра симметрии в кристаллах льда имеет не только минералогический интерес; оно должно могущественно сказываться в электрических свойствах планеты, т. е. глубоким образом отражаться в истории природных вод.

Еще более крупное значение может иметь открытие полиморфизма льда Г. Тамманом (1900—1909). К нему, с другой стороны, давно уже под-

¹ После того, как опыты Руайе и других указали, что фигуры вытравления энантиоморфного характера появляются на кристаллах, выделяющихся из растворов, заключающих энантиоморфные вещества, мыслимо, что и в случае гемиморфных форм веществ, принадлежащих к классам с центром симметрии, мы имеем аналогичное явление. Надо допустить в таком случае существование в тропосфере и в стратосфере неизвестных нам веществ, вызывающих гемиморфную (т. е. с полярными векторами в поверхностном слое) форму кристаллов льда, в своей внутренней сетке не имеющую таких векторов.

ходили минералоги. Явление едва захвачено научной мыслью. Ясно, что новые разности нормально появляются при очень высоком давлении: здесь существует лед с точкой плавления $+70^{\circ}\text{C}$, т. е. лед „горячий“. Как мы увидим, вероятно эти разности горячего льда существуют в земной коре в области волосных вод. Другие указания приводят к допущению временного существования других полиморфных разностей, не охваченных термодинамическим полем, изученным Таммманном. Явление едва начинает охватываться научной мыслью.

497. Если вопрос о полиморфности льда не играет сейчас для нас заметной роли в природных условиях — совсем иное значение представляет поразительное разнообразие форм его кристаллизации. Из минералов, не говоря уже об искусственных соединениях, едва ли есть какой-нибудь, который мог бы быть поставлен на ряду с ним. Может быть только кальцит дает аналогию. Но в то время как в кальците это разнообразие вызывается чрезвычайной отзывчивостью вещества на изменение окружающей среды в появлении множества новых простых форм¹ — в воде, в ее твердой фазе, это связано с необычайным разнообразием появления параллельных, ам. б. и двойниковых, сростаний немногих простых форм при изменении кристаллизационной среды. Таковы снежинки, которые нас окружают зимою и существуют непрерывно в приполярных странах и в области вечных снегов. Их форма не только геометрически постоянна и правильна — она явно закономерно меняется в зависимости от условий, скажем, погоды.

Это, в сущности, все, что мы знаем. И. Кеплер (I. Kepler. 1576—1630) в 1611 году впервые указал на правильность явления. В его исканиях гармонии природы снежинки сыграли крупную роль. С тех пор скопился огромный эмпирический материал. Зарисованы, а потом сфотографированы многие тысячи снежинок — Д. Россетти (1681), В. Скоресби (W. Scoresby. 1789—1859), И. Глешером (1855), Chichering (1864), А. Норденшильдом (1861 и сл.), Waters (1871), Н. Hellmann (1893 и сл.), А. Добровольским (1903), В. Бентлей, Симпсоном и др. Глешер связал изучение формы снежинок с изучением элементов погоды; за ним пошли другие, и систематически непрерывно вел такие наблюдения Бентлей в течение более 30 лет в Северной Америке.

Несмотря на огромную работу, задача остается неразрешенной, но явление первостепенного значения перед нами открылось.

Можно, кажется, утверждать, что: 1) форма снежинок закономерно меняется и повторяется, указывая на определенные физико-химические условия их образования, 2) что ни температура, ни давление не являются факторами, ее обуславливающими.

Вероятно, надо искать причину в явлении, близком к гипотезе К. Аббэ (1898). Разбирая наблюдения Бентлея, Аббэ предположил — основываясь на данных кристаллографии — существование в среде кристаллизации снега примесей разных газов, влияющих на форму, но не входящих в состав снега. Мы сталкиваемся здесь с явлением большого значения в истории воды (§ 517), но совершенно почти не охваченном теорией и опытом: растворением „твердых“ компонентов в газах. Такие явления — особенно при увеличении давления — существуют, но упускаются из виду и не охвачены в достаточной мере опытом и теорией. Как пример, можно привести растворение твердого иода в газообразной углекислоте.

При кристаллизации из паров воды эти растворенные компоненты могут не входить в состав снежинок, но должны влиять на ее кристаллическую форму.

¹ Разнообразие комбинаций кристаллов кальцита не проявляется в наших опытах. Опыт дает исключительно очень немногие, обычно очень стойкие простые формы для CaCO_3 .

Но возможна и другая причина: снежинка может образоваться из жидких капелек (§ 578), несомненно являющихся растворами.

Решит опыт.

Форма и характер снежинок должны дать понятие о распространении в тропосфере веществ, растворяющихся в воде и дающих определенные растворы, при чем вещества эти влияют на векториальную энергию поверхностей многогранников, вызывая скульптуру и штриховку их граней и параллельные сrostки и скелеты.

Я вернусь к этому явлению во второй части книги.

498. В твердом же виде представляется нашим органам чувств та вода, которая в форме „влажности“, гигроскопической воды проникает все горные породы и все минералы суши — не говоря о морях — и является одной из важнейших и характернейших черт строения земного вещества, по крайней мере поверхностных областей планеты (§ 60).

Как уже раз указывалось, не исключена возможность, что одна из составных частей этой волосной воды — первый слой ее, облегающий твердую стороннюю среду, — есть реально особый лед (§ 6).

Не видная глазу „пленчатая“ или волосная вода твердых масс земной коры только сейчас входит в область научных изысканий, и надо думать, что мы подходим здесь к любопытнейшим проблемам.

Эти волосные растворы проявляются при анализе льда в виде растворенных в льде их компонентов, а при анализах других земных твердых тел в виде уходящих из них при нагревании молекул воды.

Мы имеем многочисленные количественные определения растворителей таких растворов, но ошибочно выражаем их как химически чистую воду, при анализе относительно легко удаляемую из природного тела без его резкого изменения и разрушения.

В действительности мы имеем дело с проникновением во все твердое вещество планеты ее водных растворов, а не одного растворителя, пресных, соляных, рассольных.

Эти водные структуры находятся под огромным воздействием поверхностных сил твердого вещества.

В равновесии, которое всюду наблюдается в земной коре:

водные растворы $\rightleftharpoons$ твердые тела,

(§ 12) в то время, как в подземных (почвенных, грунтовых, напорных) водах преобладает или выступает на первое место водный раствор (§ 45) — здесь на первое место выступает твердое тело.

Сперва существование таких структур было указано для льда в конце прошлого века И. Беканеном (1887), и теория его развита Квинке (1908); позже выдвинуто значение этих явлений в общей форме для всего твердого земного вещества (Вернадский. 1928), здесь развиваемое.

Дело ближайшего будущего дать нужный экспериментальный материал.

Структура равновесия: природные растворы $\rightleftharpoons$ твердые тела, выясненная в последнее время А. Ф. Лебедевым для почвенных и грунтовых вод, должна здесь получить новую форму.

499. Новое понимание должна получить и вода микроскопически мелких включений. Эта вода находится под большим давлением, в определенных случаях достигающем порядка многих десятков атмосфер, так как содержащаяся в воде CO_2 превращается в жидкое состояние (при обычной температуре ок. 36 атм. давления). Такое объяснение старых наблюдений Д. Брюстера (§ 420) было дано в 1858 г. Р. Зимлером (1833—1874), но только в 1869 году Гейсслер и Фогельзанг это доказали, а в 1882 году Ф. Райт (F. Wright) дал точные числа. Открылся факт огромного значения. Равновесие:

природные воды, раствор $\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2$ газ (пары воды) переходит в равновесие:

жидкая $\text{CO}_2 \rightleftharpoons$ природные воды, бедные CO_2 .

Выводы из этих явлений не сделаны, и за последние 50—70 лет здесь наблюдается полный застой. Необходима энергичная работа в направлении, впервые ясно указанном Г. Сорби (1869) (§ 420) на фоне изучения волосной воды твердого земного вещества.

500. В XIX—XX веках вновь получают первые достижения в научной и точной форме дальнейшего расширения тех проблем, которые в XVII—XVIII веках привели к великому обобщению—к равновесию Галлея, связавшему поверхностные воды суши, метеорные воды, океан, реки, верховодки в единое целое (§ 409).

К этому Галлеевскому основному равновесию, связывающему все наземные поверхностные воды—воды тропосферы, гидросферы и суши, примыкает обобщение, сделанное через 200 лет А. Ф. Лебедевым в той форме, в какой оно проводится в этом сочинении. Оно связывает с биосферой и с равновесием Галлея воды стратисферы и ниже ее лежащих геосфер.

И наконец к этому надо прибавить третье равновесие, вводимое в этом сочинении, которое связывает гидросферу, ее иловую воду в первую очередь, с водами стратисферы.

Вместе взятые эти три равновесия дают возможность точно разбираться в основных чертах круговорота воды на нашей планете.

Мы сейчас еще не можем идти с той же точностью дальше и связать стратисферу и ниже ее лежащие геосферы в истории воды друг с другом. Здесь у нас сейчас отсутствуют те данные, какие имеются для вод биосферы и которые позволяют построения точных равновесий.

Выявление их количественных соотношений задача будущего.

Однако на этот путь уже сейчас вступила научная мысль для равновесия Галлея.

В этом направлении надо здесь упомянуть работы А. И. Воейкова. В 1905 году Э. Брикнер установил как первое приближение „круговорот воды“ на поверхности планеты—по существу пересмотренное на основании почти двухсотлетней работы равновесие Галлея. С тех пор этот вопрос не слодит с поля научного зрения и быстро уточняется. Точного баланса мы однако не имеем. Я вернусь к этой проблеме во второй части книги.

501. В середине XIX века более реально выступил вопрос о взаимоотношении вод биосферы и глубинных, существование которых, как я уже указывал (§ 411), было ясно с конца XVII, с начала XVIII в. и своеобразный характер которых давно обратил на себя внимание исследователей рудных месторождений и минеральных вод (§ 421).

В связи с изучением рудных месторождений в вертикальном разрезе Ф. Пошепный выделил три вертикально сменяющихся области этих вод—вадозные, фреатические и ювенильные—уже в 1867 году, но лишь в самом конце века, после переработки его идей в 1893 году в сочинении *Genesis of ore deposits* и особенно в начале XX века (1902), после того как Э. Зюсс применил эти идеи к генезису минеральных источников, они вошли в научное сознание. Вся эта область явлений не охвачена количественным учетом. Количественно явление не связано с равновесием Галлея.

502. Очевидно все природные воды и отвечающие им пары и льды являются продуктом геологических процессов, и в виду огромного значения изучаемой группы минералов и по разнообразию и по массе в земной коре наши о ней представления коренным образом могут меняться и меняются в ходе и смене геологических воззрений.

Среди представлений, сейчас находящихся в обсуждении, надо остановиться на двух, имеющих огромное значение в истории природных вод.

Во-первых, на вопросе об изменении нашей планеты во времени (§ 26 сл.) и во-вторых, на вопросе о диссимметрии в ее строении (§ 74 сл.). Оба эти явления тесно связаны, и они указывают, что та форма организованности планеты, которая вскрывается при изучении истории природных вод и которая является предметом изложения в данной книге, есть геологически постоянное явление, почти неизменное и может быть в среднем неизменное в течение всего геологического времени. Представление о том, что за все геологическое время условия планеты были близки к современным, выросло эмпирически. Впервые оно было формулировано как общее положение в конце XVIII века (1788) Геттоном и развито Плейфером.¹ Оно глубоко вошло в сознание благодаря многократной переработке и проверке этого эмпирического положения сперва К. Э. фон Гоффом (K. E. v. Hoff. 1771—1837), потом независимо Ч. Ляйелем (Ch. Lyell. 1797—1875) на огромном фактическом материале в ряде изданий курсов геологии, влиявших на научную мысль в течение десятков лет (1830—1884). Вскоре же, уже в 1830—1850-х годах, представления иного порядка о временных пароксизмах в истории земли, связанных с катастрофическими изменениями биосферы, выросшие на почве частью религиозных, частью философских представлений, замерли.

Уже Геттон (1799) ясно сознавал, что на фоне условий, близких к современным, были длительные периоды, когда резко—как бы ритмически—менялся темп геологических процессов, наиболее ярко выражавшийся в горообразовательных процессах, но эта важная поправка, ясная Геттону—Плейферу (1788—1802), совершенно исчезла из научного сознания геологов девятнадцатого века, противников катастрофических теорий. Для орогенетических процессов ее ярко ставил—на неверных посылах—Э. де Бомон в 1830—1840-х годах. В его идее было здоровое эмпирическое основание, и к концу века и в XX веке она возродилась вновь и приняла ясную, опирающуюся на факты форму после того, как синтез Э. Зюсса, его *Antlitz der Erde* (1882—1906), охватил геологическую мысль. Сейчас эти идеи перерастают ту оценку, которая вытекала из построений Зюсса. Исходя из него выявилась идея диастрофизма американских геологов (Gilbert и др.)—периодов усиленных орогенетических движений, тесно связанных с усиленными изменениями самых разнообразных геологических процессов—в том числе явлений жизни (В. П. Амалицкий. 1896, Д. Н. Соболев. 1914—1924), ледниковых явлений (В. Рамзай. 1910). Особое значение эти идеи получили после работ Д. Джоли (1909—1924), связавших их с характером распределения радиоактивной энергии планеты. В истории природных вод необходимо постоянно иметь это в виду—и в частности учитывать, что современная история природных вод отвечает лишь одной из стадий спадающего ритма геологических явлений. Надо отметить, что вся эмпирическая основа этих больших критических периодов в истории планеты совершенно независима от построений Джоли и останется незыблемой, если даже теоретическое построение Джоли окажется неверным или недостаточным. Очень возможно, что радиоактивный распад матерьяла земли есть не главный и единственный, а один из факторов наблюдаемого ритма.

503. Идея диссимметрии строения земной коры (§ 74 и сл.), т. е. постоянство материков и суши, тесно связана с постоянством механизма земной коры в течение геологического времени.

¹ Эта идея нередко очень ясно сознавалась отдельными натуралистами с XVI столетия. Она была ясна Леонардо да Винчи (ум. 1519) и Б. Палисси (ум. 1589). Геттон и Плейфер ввели ее в научное понимание, как определенно высказанное эмпирическое обобщение.

Идея о диссимметрии была впервые высказана на основе эмпирических построений американским геологом Д. Д. Дэна в 1846 году, развита им позже в ряде работ и медленно охватывала научную мысль. Сейчас это представление, очень обычное среди североамериканских геологов, служит предметом широкого обсуждения.

Его значение для истории природных вод огромно, и при оценке его с этой точки зрения вскрываются новые черты, могущие быть использованы при его проверке.

Дэн сознавал совершенно ясно, что в диссимметричном распределении суши и океана, впервые географически выявленном в конце XVIII столетия (§ 78) Кларе де Флерье, выявляется основная, исконная черта геологической истории планеты. Возможность подойти научно к причине возникновения диссимметрии возникла только через десятки лет позже, в 1877—1879 г., когда Д. Дарвин выявил геологическое и космогоническое значение приливов и отливов, гравитационных движений жидких и полужидких масс на твердых планетных массах,¹ а американский астроном Пиккеринг (G. Pickering. 1907—1924) связал образование диссимметрии нашей планеты с образованием из нее Луны — в связи с этими процессами и проявления его в первичной океанической впадине (Тихий океан).

Проверка следствий из этой гипотезы стоит на очереди дня.

С ней связан вопрос о генезисе биосферы (Вернадский. 1931).

504. Еще несколько слов об истории того большого явления, которое все резче вторгается в долго неподвижную историю природных вод, мною отмечается во всем дальнейшем изложении, но сколько нибудь в нем подробно не развивается (§ 129 сл., 268).

Сознание огромного значения в природных процессах человека — цивилизованного человечества — было выдвинуто в конце XVIII века Бюффоном в 1780 г. в его „*Epoques de la Nature*“. Он отвел ему отдельную, свою седьмую, эпоху. Мы возвращаемся сейчас к этим воззрениям; крупные геологи XX века Шухардт в Америке и А. П. Павлов в Европе отделяют время создания больших культур как грань новой геологической эры — психозойной эры Шухардта, эры *Homo sapiens* Павлова.

Изучение истории природных вод сейчас может идти только в рамках этих идей; необходимо на каждом шагу вносить поправку в научные представления, построенные безотносительно к деятельности человека.

505. Новый огромный сдвиг совершается в истории природных вод с охватом их новой наукой — геохимией. Впервые уже в XX веке (1908 — 1924) Ф. Кларк в своей книге *Data of geochemistry* дал обработку огромного материала с новой точки зрения, продолжая работу Бишофа и Рота (§ 419).

Автор идет по тому же пути, по иному, правда, определяя задачи геохимии. Одновременно эта книга опирается на новые геологические представления о строении земной коры, чего не делал Кларк. Природные воды рассматриваются, как часть организованности планеты.

Во время моей работы над этой книгой мне выяснилось, что на этот последний путь уже в 1908 году вступил В. Мак-Ги (W. Mak Gee), давший сжатое, но яркое изложение своих взглядов.

Вероятно будущий историк представлений о природных водах найдет и других предшественников мною выставляемых идей. По иному, чем он здесь дан, конечно, выявится ему и весь ход исторических идей, здесь изложенный.

Ибо история вопроса меняется с изменением наших представлений, прошлое которых является ее объектом.

¹ Кажется Э. Кант первый понял астрономическое значение приливов и отливов — значение того трения, которое они производят в связи с длиной суток и положением Луны.

505А. Эта глава была уже отпечатана, когда в начале 1933 года было сделано величайшее открытие в истории воды, которое может быть поставлено наряду с открытием ее химического состава в 1781—1783 гг. (§ 413). Это открытие сверх того ставит совершенно новые проблемы в минералогии и в геохимии природных вод, о которых еще в 1931 году никто не помышлял (§ 398 А). Это было открытие существования нескольких физически, химически и биохимически различных вод в зависимости от нахождения изотопов водорода, легкого обычного и тяжелого изотопа с атомным весом вдвое большим. Очевидно существование нескольких изотопов кислорода заставляет считаться с возможностью нахождения на Земле нескольких физически, химически и геохимически различных вод—не только двух сейчас установленных. Надо уже сейчас считаться с возможностью шести вод, изотопически различных.¹

В 1932 г. американские физики Урэй, Брикуик и Мерфи (Urey, Breckweck a. Murphy) открыли тяжелый водород; атомный вес его равен $2,01341 \pm 0,00018$ по отношению к кислороду веса 16 (Bainbridge. 1932). Американский физико-химик Льюис (Lewis) исходя из этого открытия доказал существование примеси тяжелой воды H_2^{18}O в обыкновенной воде H_2^{16}O и выявил, что все определенные до сих пор константы воды должны подвергнуться новому экспериментальному пересмотру. Уже в середине 1933 г. Льюис вместе с Макдональдом мог определить основные константы новой воды H_2^{18}O ; для воды H_2^{18}O , в которой находилось меньше 0,01% (по весу) обычной воды H_2^{16}O —точка плавления равна $+3,8^\circ$, точка кипения $101,42^\circ$; плотность при 25° —1,1056, температура наибольшей плотности $+11,6^\circ$. Очевидно это совершенно новое тело. Лед тоже совсем другой.

Во всем дальнейшем изложении я буду принимать во внимание существование этой воды, свойства которой изменены в такой степени по сравнению с обычной, как это еще никогда не наблюдалось для изотопических разностей. Но я не могу сейчас же не обратить внимания на те основные искания, какие открытие этой воды вносит в данные и в проблематику минералогии воды.

Прежде всего ставится по новому вопрос об отношении воды и жизни. Эта новая вода резко отличается от обычной воды тем, что она не только является ядом для организмов, как это имеет место и для обычной воды химически чистой (H_2^{18}O)—, но она не может организмами (в чистом виде) использоваться. Ставится по отношению к равновесию вода и жизнь (§ 112 сл.) новая проблема: захватывается ли эта новая вода организмами или нет или захватывается иногда? Возможно, что состав воды организмов другой, чем воды косной природы.

Во-вторых ставится новая проблема: как распределяются тяжелые молекулы воды в природных водах? Пока есть только первые определения количества этой воды в природе. Для дождевой воды Принсетоуна в С. Америке Д. С. Тэйлор нашел $2,1 \cdot 10^{-2}\%$ по весу молекул H_2^{18}O . Еще и другой вопрос стоит на очереди—какова вода в метаморфической геосфере? Найдём ли мы здесь концентрацию тяжелой воды?

¹ Их число увеличится, если принять во внимание существование изотопа H_1 .

VIII. Химический состав минералов группы природной воды

1. Состав твердых фаз

506. Из всего вышеизложенного ясно, что наиболее сложны и разнообразны с химической точки зрения жидкие разности природных вод.

Они и наиболее изучены. Для твердых разностей анализы очень неполны и скудны.

Можно, однако, применить и для твердых фаз природных вод те основные принципы классификации, какие так ясно проявляются для фаз жидких (§ 333 и сл.).

В основу можно положить деление на царства. Но для твердых фаз воды существует главным образом одно царство (§ 336) — поверхностных вод. Царство подземных вод представлено слабо, царство глубинных вод не имеет представителей среди твердых водных фаз. Лед при температуре и давлении, характерных для этих царств, неустойчив.

Царства делятся на подцарства, семейства, виды (§ 354). На основании концентрации солевого остатка различаются классы. Для твердых фаз редки и мало изучены рассолы.

Можно сейчас точно научно говорить только о двух классах твердых минералов воды — пресном и соленом льде. Рассольный лед однако есть и требует изучения (§ 514, 357).

Соленые льды (и рассольные особенно) представляют вероятно не химические растворы, а закономерные физические смеси, структура которых разнообразна и еще не ясна (§ 514).

Деление на подклассы — по газовым компонентам — может быть проведено с трудом — не по существу дела, а по малой изученности явления.

И здесь есть резкая особенность — ряды (§ 335) с кислородом должны господствовать, и, может быть, бескислородных подклассов природного льда нет.

507. Обычно химические представления об этой подгруппе получаются анализом (химическим) той жидкой фазы, которая образуется при их плавлении.

Это конечно дает не вполне отвечающее реальности представление о составе твердой воды: часть компонентов полученной жидкой воды могла содержаться в твердой ее фазе или в твердом виде (в кристаллах), или в жидких концентрациях (канлях), уже существовавших в твердой природной разности, как таковые. Такие тончайшие включения действительно констатированы во многих случаях и теоретически неизбежны.

Существование твердых растворов для льда является недоказанным, но отрицать возможность их образования — по аналогии с явлениями, наблюдаемыми для других твердых тел (например для силикатов, свободных элементов и т. д.), тоже нельзя. Вопрос требует изучения.

Но и условия образования твердых водных фаз делают образование резко выраженных твердых растворов мало вероятным. Ибо лед выделяется из растворов, при чем, судя по опытам наших лабораторий, явление идет по схеме:

Водный раствор → кристаллы льда (твердая фаза)
 ↓
 „криогидрат“, тесная смесь кристаллических гидратов солей и чистых кристаллов льда.

Образуются в криогидрате кристаллы солей, богатые водой, очень низкоплавкие — более низкоплавкие, чем лед.

Такое образование при обычной температуре рассолов, отвечающих криогидратам с точками плавления до -70°C , подтверждается новыми прямыми наблюдениями Г. Тамманна (1929) для глетчерного льда и П. Балавуана (P. Balavoine. 1929) для пресноводного озерного льда (§ 939).

„Солеными“ льдами будут являться льды более богатые каплями магочного раствора или (при их испарении и при особых условиях) включениями кристаллов солей. Но это последнее явление должно быть более редким. Соленый лед должен представлять твердое тело, содержащее микроскопически мелкие рассольные капли или микроскопические твердые включения. Он отвечает дисперсным системам — коллоидальным эмульсиям или мутям, едва ли растворам.

508. Область нахождения твердых фаз воды ограничена в земной коре не только книзу, но и кверху. Книзу, в биосфере она заходит на десятки метров, может быть изредка больше, на сотни ниже земной поверхности суши в областях вечной мерзлоты (§ 58). Кверху она не заходит за пределы стратосферы. Высокая температура верхней стратосферы и ионосферы исключает нахождение в ней твердой фазы воды. Даже для более низкой части стратосферы — для перистых облаков, которые еще недавно считались типичными облаками из кристаллических снежинок, это становится сомнительным. Возражения Г. Симпсона (1923), рассматривающего их, как переохлажденные капли жидкой воды, заслуживают серьезного внимания и вероятно окажутся верными.

Область твердых фаз воды ограничена верхними слоями тропосферы и нижней стратосферы. В тропосфере образуются и оттуда доходят на сушу и океан снег и град.

Здесь идет постоянный процесс:

снег (град)
 ↓ ↑
 жидкие капли.

Поэтому состав талого снега и града может отвечать его твердой фазе.

Таяние снега постоянно происходит в атмосфере. Переход снега в дождь и обратно — обычное явление.

То же самое надо сказать и по поводу состава и инея по сравнению с составом росы.

Это почти всегда бедные твердыми компонентами пресные льды.

Пресными водами являются воды, образующиеся при таянии ледников как материковых, так и альпийских. Они являются формой метеорной воды, не подвергшейся сильному химическому изменению после своего выпадения из атмосферы — наиболее чистые (§ 565).

Они все могут быть рассматриваемы как твердые фазы, отвечающие дождевой воде (§ 582).

509. Следующие неполные анализы могут дать представление о химическом составе снега и инея. Полных анализов нет. Мы имеем немного-

численные, в общем, определения некоторых компонентов, которые интересовали исследователя из соображений гигиенических или агрономических.

Я даю здесь пределы наблюдаемых колебаний, учитывая чрезвычайную недостаточность имеющихся данных.¹

Снег

Твердый остаток.	$6,0 \times 10^{-3} - 2,1 \times 10^{-2} \%$
Взвешенная муть.	$4,0 \times 10^{-4} - 4,3 \times 10^{-1} \%$
Органические вещества.	$1,1 \times 10^{-2} - 2,4 \times 10^{-3} \%$

Элементы

N ²	$4,5 \times 10^{-3} - 1,6 \times 10^{-3} \%$
O ³	$2,9 \times 10^{-3} - 8,0 \times 10^{-4} \%$
Na.	$1,2 \times 10^{-3} - 5,6 \times 10^{-4} \%$
Cl ⁴	$1,0 \times 10^{-3} - 2,0 \times 10^{-4} \%$
C ⁵	$3,8 \times 10^{-4} - ? \%$
S ⁶	$2,1 \times 10^{-4} - 2,3 \times 10^{-6} \%$
Ca.	$6,0 \times 10^{-4} - 2,6 \times 10^{-5} \%$
H ⁷	$1,8 \times 10^{-4} - 7,6 \times 10^{-6} \%$
F.	$3,1 \times 10^{-5} \%$
J.	$2,2 \times 10^{-7} - 5,4 \times 10^{-11} \%$

Есть K, Br, Mg, Ra, ThX, Rn.

Характерно для снега так же, как для дождя, преобладание соединений азота.

Для снега (и пресноводного льда) очень характерно, что он при лежании впитывает из воздуха NH₃, SO₃ и N₂O₅, так что количество этих тел может увеличиться очень значительно. Наблюдения дают для:

SO₃ до $7,6 \times 10^{-3} \%$ (J. Stoklasa в Праре)

NH₃ до $1,8 \times 10^{-3} \%$ (исходный $1,0 \times 10^{-3} \%$, по J. Boussingault).

В „загрязненных“ (культурой) местностях количество этих тел может достигнуть значительно больших величин — SO₃ до $9,1 \times 10^{-3} \%$ (Lehmann).

Снег не только впитывает в себя разные тела из атмосферы — он может (в определенных условиях) очищаться от растворенных, посторонних тел. Это происходит с лежалым снегом при многократном таянии — вымораживании (§ 565). К сожалению, анализа талого снега (в горных областях ?,

¹ В анализах и снега и росы чрезвычайно сказывается влияние культурной жизни человека

N (газ).	$2,8 \times 10^{-3} - 1,6 \times 10^{-3} \%$
NH ₃	$1,0 \times 10^{-3} - 5,0 \times 10^{-5} \%$
HNO ₃	$5,1 \times 10^{-4} - 0? - 4,5 \times 10^{-5} \%$
HNO ₂	$3,2 \times 10^{-6} \%$
Органический N.	$n \times 10^{-4} \%$

² До $7,5 \times 10^{-3} \%$ и больше? В городских поселениях свежий снег содержит до $4,0 \times 10^{-3} \%$ NH₃. Может быть иногда сходит на нет для наших методов химического анализа.

³ Из CO₂, растворенного O₂ (до $7,7 \times 10^{-4} - 1,4 \times 10^{-3} \%$), SO₄, NO₃. Органические вещества не приняты во внимание; если бы их принять, кислород встал бы на первое место. Растворенная CO₂... $2,2 - 5,5 \times 10^{-4} \%$.

⁴ Анализа снега приморских мест нет. Должно увеличить число для хлора.

⁵ CO₂. Органич. вещество не принято во внимание. Должно повысить.

⁶ Из SO₄, может быть иногда SO₃. В культурных местностях — городских и фабричных — нередко много больше. Только что выпавший снег дает до $1,0 \times 10^{-4} \%$ серы, макс. $6,3 \times 10^{-4} \%$ (в городах $3,0 \times 10^{-3} \%$) SO₄.

⁷ Из NH₄ и NH₃. Органич. вещества не учтены.

у нас весной?) — нет. Величина твердого осадка $n \times 10^{-3}/\%$ должна быть для него много меньше.

510. Еще более случайны наши знания об инее. Вот имеющиеся случайные указания:

Тверд. ост.	$9,0 \times 10^{-4} - 2,6 \times 10^{-4}/\%$	HNO_3	$2,5 \times 10^{-4} - 1,0 \times 10^{-5}/\%$
Органич. вещ.	$4,5 \times 10^{-4} - 2,0 \times 10^{-4}$	HNO_2	$1,0 \times 10^{-5}$
Cl	$8,0 \times 10^{-4} - 8,0 \times 10^{-5}$	J^2	$8,4 \times 10^{-7} - 1,0 \times 10^{-10}$
NH_3^{11}	$6,2 \times 10^{-4} - 7,7 \times 10^{-6}$		

Есть данные для изморози:

NH_3	$2,7 \times 10^{-4} - 2,2 \times 10^{-4}/\%$
-------------------------	--

511. Ничтожны данные и для града. Мы имеем здесь указания:

HNO_3	$8,0 \times 10^{-5} - 5,0 \times 10^{-5}/\%$
NH_3	$2,2 \times 10^{-3} - 1,0 \times 10^{-4}/\%$

Обращает внимание большое число для аммиака.

Особенно желательно определение газов в градинах, так как оно может указать на особенности тех высоких областей, в которых иногда образуются градины.

Нахождение в них NaCl указано уже давно Брандесом (1825).

512. Мне неизвестны для льда глетчеров количественные данные о его химическом составе, кроме определения газов находящегося в нем воздуха. Эти числа дают:

О раств.	$1,1^{-3} - 2,4^{-5}/\%$
N раств.	$1,5^{-3} - 1,0^{-4}/\%$

При образовании льда из снега захватывается воздух, находящийся под большим давлением и богатый CO_2 ; давление, по Коху, достигает 10 атмосфер.

Все природные льды содержат бактерии. Выраженные в весовых процентах (считая вес бактерии порядка $10^{-10} - 10^{-11}$ г), мы получим:

Снег	$2,10^{-10} - 4,10^{-9}/\%$	Глетчеры	$4,1 \times 10^{-10}/\%$
Град	$7,10^{-9} - 2,10^{-7}/\%$		

Снег при лежании меняется (§ 509) — поэтому анализ фирнового снега должен дать другие данные — особенно для азота и серы. Анализы мне неизвестны.

Снег, град, лед ледников, лед ископаемый отвечают пресной воде.

Анализы льда плавающих льдин дают (анализ Чернышева в экспедиции С. О. Макарова):

Плотн. ост.	$2,7 \times 10^{-2} - 8,7 \times 10^{-2}/\%$	SO_3	$7,8 \times 10^{-3} - 6,0 \times 10^{-4}/\%$
Cl	$7,2 \times 10^{-3} - 9,4 \times 10^{-3}/\%$		

Полярный лед более богат золотом, чем вода полярного моря ($4 - 5 \cdot 10^{-9}/\%$ для воды из льда по Габеру).

513. Лед плавающих льдин в более глубоких частях переходит в соленый лед, в новый класс твердых фаз воды.

Так по анализам Чернышева (экспедиция Макарова) на глубине 120—160 см от поверхности наблюдается:

¹ Для городских мест выше — до $7,0 \times 10^{-3}/\%$.

² Органический йод $1,0 \times 10^{-7}$ до $4,1 \times 10^{-8}$, неорганический $5,0 \times 10^{-7} - 5,2 \times 10^{-8}/\%$.

Твердый остаток

$$2,2 \times 10^{-1} - 3,0 \times 10^{-1} \%$$

Ионы

$$\text{Cl} \dots\dots\dots 9,7 \times 10^{-2} - 9,3 \times 10^{-2}$$

$$\text{SO}_4 \dots\dots\dots 1,4 \times 10^{-2} - 1,2 \times 10^{-2}$$

Как указано, характер солевых компонентов неясен (§ 507), но все указывает на физическую неоднородность такого льда.

Явление это химически очень мало изучено, и нельзя дать его полную характеристику. Впервые наблюдения О. Петтерсона во время экспедиции А. Норденшильда (1878—1883) указали, что при замерзании морской воды происходит распадение ее по уравнению:

морская вода $\rightarrow$ рассол + слабо соленый морской лед

А В С

при чем состав А, В и воды от таяния С неодинаков. Во время замерзания воды идет химический процесс, меняющий состав раствора подобно тому, как это наблюдается во время ее испарения. В зависимости от температуры очевидно образуются различные гидраты, и идет химическое взаимодействие между солями разных кислот, входящими в состав морской воды.

Морской лед более богат сульфатами (по сравнению с хлором), чем морская вода, при чем постепенно относительное количество сульфатов все растет. Так по наблюдению Петтерсона для Северного Ледовитого моря вдоль Сибирских берегов мы имеем:

$$100 \text{ Cl} : 11,70 - 11,89 \text{ SO}_4 \quad \text{Вода А}$$

$$100 \text{ Cl} : 1,67 - 1,13 \quad \text{Вода В,}$$

а для воды С (из Каттегата, Балтийского моря и Шпицбергена):

$$100 \text{ Cl} : 12,80 - 66 \text{ SO}_4 \quad \text{Вода С}$$

Последние большие числа SO_4 относятся к ледяным пловучим айсбергам около Шпицбергена. По мере плавления льдин процент SO_4 все повышается.¹

514. Обычно верхний морской лед содержит около 1% солей. Но иногда солевой остаток превышает 5%; мы имеем ледяные рассолы, которые должны быть выделены в особый третий класс льда.

Это верно, например, по числам хлора (содержащим бром) кристаллов льда, изученных О. Петтерсоном. Для этих ледяных рассолов мы имеем, например, для чистых, старательно отобранных кристаллов 4,726% такого Cl. Очевидно, весь солевой остаток будет значительно большим.

Норденшильд отмечает, что соленость увеличивается к поверхности льда, это вызывается нагреванием ледяных масс летом и весной.

С возрастом таким образом состав соленого льда будет меняться. Устойчивой формой в полярных условиях может быть, в известных случаях, рассольный лед.

Соленый и рассольный льды очевидно не являются вполне однородными телами — но они являются закономерной физической смесью.

Часть рассольного и соленого льда может быть отнесена к так называемым криогидратам, т. е. к тесной смеси слабо соленого льда или даже льда пресного и гидратов $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ или $\text{NaCl} \cdot n\text{H}_2\text{O}$, устойчивых только при очень низких температурах (и где n больше единицы).

¹ Этот основной вопрос неясен и требует проверки. Наблюдения Петтерсона были подтверждены Рингером. Однако пробы Мальмгрена и Свердрупа (1919) дали обратные результаты — т. е. Cl/SO_4 повышается. Прямые химические определения В. Визе (1929) около Земли Франца Иосифа подтвердили наблюдения Петтерсона. Свердруп Мальмгрен химически воду не изучали; определяли удельный вес.

К сожалению, достаточных химических данных для суждения у нас нет.¹

515. Еще менее изучены те льды, которые образуются при замерзании озер — соленых и рассольных.

Мы имеем здесь лишь немногие случайные данные.

Этот лед всегда включает соль и может быть для рассолов дает рассольный лед, очевидно существующий только в суровые зимы и только временами.

Такие климатические условия должны существовать для Сибири и прилегающих частей холодных областей Азии — и временами для бесчисленных соленых озер Восточной России и Западной Сибири.

Лед этих озер анализировался изредка. Так для Тамбуканского озера около Пятигорска по В. Третьякову (1927) вода, образовавшаяся от его таяния, содержит

Cl $5,0 \times 10^{-1}$ до 1,0‰.
SO₃ $2,0 \times 2,8\%$

2. Состав газовых фаз природной воды

516. Наши знания о составе природной парообразной или газообразной воды являются очень неполными.

Они неполны, во первых, потому, что недостаточно изучены природные формы водяных паров. Но они неполны и потому, что на явления испарения водных растворов нельзя переносить целиком выводы, которые правильны по отношению к химически чистой или к чистой пресной воде. При испарении получают не только газообразные молекулы воды, но в разных количествах улетучиваются и некоторые компоненты раствора. Особенно ясно это сказывается при испарении сильно соленых и рассольных растворов. С другой стороны, при испарении воды при ее точке кипения устойчивы в водяных парах некоторые обычно нелетучие вещества, например H₃BO₃. В геологических явлениях, когда время и массы реагирующего вещества очень велики, ничтожные подмеси к водяным парам таких сторонних тел приобретают значение и сказываются в составе водяных паров, которые никогда не являются химически чистыми.

Необходимо также иметь в виду, что в природных условиях испарение не идет из спокойных водных масс, а из масс, находящихся в движении, иногда бурном, каким является поверхность соленых вод океана и морей во время волнений, бурь, прибоев, воды гейзеров и вулканов, многих минеральных источников и т. п. При этом брызги и капли попадают в воздух, испаряются, оставляют тончайшую муть, которая переходит в раствор в той жидкой воде, которая попадает в эту среду или в ней сгущается. Так получается в значительной мере солевой остаток метеорных вод — дождей и снега — помимо того хлора и натрия, например, которые получают при испарении с океанических поверхностей.

На эти явления обратили внимание уже в начале XVIII века одновременно в 1705 А. Левенгук в Голландии и Фуллер в Суссексе, и ими объяснял А. Лавуазье² состав метеорной воды, ее отличие от воды, дистиллированной в лабораторных условиях.

Обычно можно иметь лишь очень неполное представление о химическом составе природных водяных паров.

517. Но есть еще одно природное явление, которое имеет место в земной коре — вероятно в большом масштабе, — но которое очень недоста-

¹ Повидимому, это процесс даже не чисто химический, а связанный с явлениями жизни: в разрушении льда (его разъедании) жизнь (диатомовые водоросли, в частности) играет очень видную роль. Химия этого процесса не изучена.

² Напечатаны впервые в 1865 году. Независимо такое же объяснение дал Д. Дальтон в 1822 году.

точно охвачено теоретической мыслью, это растворение в газообразных массах твердых и жидких компонентов как функция температуры и давления.

Одновременно наблюдаются два различных процесса, во первых, испарение всякого твердого тела: оно увеличивается при повышении температуры и в газовой среде, обладающей движением. И во вторых, растворение в газообразной среде твердого тела, приходящего в соприкосновение с этой средой: это растворение должно увеличиваться не только при увеличении температуры, но и при увеличении давления.

Оба явления должны иметь место в стратосфере и в метаморфической оболочке, областях повышенной температуры и давления в большем масштабе, чем в биосфере.

Эти проблемы настоятельно требуют изучения в связи с характеристикой природных паров.

518. Мы наблюдаем в биосфере, с одной стороны, водяные пары атмосферы, главным образом тропосферы, с другой — водяные пары вулканических и сопочных извержений и горячие водные струи гейзеров. Водяные пары гейзеров иногда являются частным примером терм и в таком случае должны быть рассматриваемы совместно с ними. Иногда, как в Исландии, связь их с вулканическими извержениями кажется несомненной. Но очень вероятно нахождение в земной коре скоплений горячих (перегретых) водяных паров далеко от вулканических очагов и от них, повидимому, независимых (§ 521, 533).

Таким образом, в доступных нам участках земной коры имеется по крайней мере три типа водяных паров, долженствующих отличаться по своему химическому составу.¹

В первом случае — водяных паров тропосферы — они почти недоступны нашему непосредственному изучению: мы можем изучать лишь их сгущение в жидкую воду, происходящее постоянно в тропосфере.

Уже здесь, в облаках, тучах и туманах, скоплены сгущенные в жидкие капли пары воды (§ 578). Этот процесс происходит непрерывно.

Мы анализируем эти первичные сгущения, когда они падают на землю в виде снега, дождя, туманов, отчасти росы.

Очевидно уже при этом первичном сгущении они резко меняют свой состав, так как в жидком состоянии они легче растворяют часть пыли и следы газов, чем в парообразном состоянии.

519. Вода проникает всю атмосферу, уменьшаясь в количестве с высотой и с понижением температуры; ее пары более легкие, чем заключающий их воздух. Количество водяных паров непрерывно и чрезвычайно меняется. Некоторые числа могут дать об этом понятие. Абсолютная влажность (т. е. количество насыщенных паров при данной температуре и давлении) колеблется между -25°C и $+30^{\circ}\text{C}$ при 760 мм в пределах, которые вызываются воздухом, содержащим от $5,5 \times 10^{-2} \%$ до $2,39\%$ воды по весу. Так как температура колеблется в больших пределах, то очевидно эти числа не являются конечными. Во влажных жарких местах процент водяных паров может достигать временами значительно больше 3 — 4 процентов по весу.

В годовом среднем, по С. Аррениусу, в разных широтах на земной поверхности процент (весовой) паров воды в воздухе колеблется в пределах 0,23 — 1,12%.

520. Эти числа дают лишь очень отвлеченное, далекое от реальности, среднее представление о характере и составе водяных паров тропосферы.

В разных частях тропосферы, в ее географическом и вертикальном

¹ Некоторые горячие минеральные источники сюда не подходят и должны быть связаны с независимым четвертым типом водяных паров. Они химически не затронуты.

разреже. состав паров должен быть различен, так как среда, где они находятся, резко меняется.

Особенно сильно это выражено вблизи земной поверхности.

В областях богатых растительностью, в лесах, над степями и лугами, состав водяных паров должен быть совершенно иной, чем, скажем, на горных высотах, в области, далекой от земной поверхности. Здесь троюсфера, с одной стороны, переполнена разнообразнейшими органическими соединениями — выделениями жизни и продуктов распада ее выделений в первую очередь. Это запахи, геологическое значение которых огромно и не изучено. Они содержат кроме С, Н, О, N и такие элементы, как Р и S.

Мы не знаем, в каком отношении находятся все эти тела по отношению к парам воды, но мы знаем, что они в их сгущениях — тучах, росах, туманностях — играют большую, научно неясную роль.

С другой стороны, в той же среде, в биоценозах и около них сосредоточивается углекислота. Тонкий надпочвенный слой является чрезвычайно обогащенным углекислотой: всякая влажная почва является энергичным источником ее образования биохимическим путем, жизнедеятельностью микроскопической жизни.

Всякая влажная почва „дышет“, т. е. выделяет углекислоту. В этих приземных слоях надо искать причину углекислых дождей и туманов (§ 586 — 587).

Отсюда следует, что приземные пары являются геологически и геохимически иным телом, чем пары высокой тропосферы. Мы их должны отделять, как особый минеральный вид.

521. Углубляясь за пределы земной поверхности и прежде всего встречаясь с почвой, становится ясным, что состав почвенных паров должен быть иной, чем надпочвенных.

По мере углубления за пределы поверхности биосферы, условия образования водяных паров резко меняются, становятся все более и более независимыми от метеорных вод — вод тропосферы.

Уже на относительно небольшой глубине — немногих десятков метров — количество свободного кислорода резко уменьшается в подземной атмосфере. В то же время атмосфера должна делаться более сухой — пары, повидимому, поглощаются окружающим твердым веществом, которое уже в подпочве и в окружающих породах становится на ощущение сухим, т. е. содержит только волосную воду: водяные пары уменьшаются в подземной атмосфере подобно кислороду по мере удаления от наземных вод.

Новый источник их возникновения появляется лишь в верховодках и еще больше в более глубоких пластовых водах, которые местами сосредоточиваются в стратисфере. Хотя повышение температуры и должно повышать количество паров — эти подземные воды по массе меньше вод наземных, и для быстроты их испарения отсутствует благоприятное условие — наличие свободной массы газов и их движения.

Очевидно глубже в метаморфической оболочке, по мере повышения давления и температуры, количество паров воды должно быстро увеличиваться, и мы перейдем в таком случае от воздуха с парами воды в пары воды с воздухом, при чем химический состав этого воздуха будет иной, прежде всего лишенный кислорода, и создаются подземные водяные атмосферы.

Такие водяные пары, смешанные с газами, действительно проникают биосферу, наблюдаются в гейзерах.

Многое указывает на то, что в земной коре в ближайших к биосфере частях стратисферы всюду находятся большие и малые трещины, пустоты и вместилища разного вида, в которых собираются перегретые сдвинутые водяные пары, дающие гейзеры; пары эти идут с глубин во многие

сотни метров. Это водяной пар, нагретый выше 140°C , содержащий H_2N , H_2S (переходящий в SO_4), бор, богатый азотом (§ 533).

Но это только один из типов таких перегретых паров воды.

Если мы не можем непосредственно наблюдать в биосфере другие скопления, можно заключать научно точно об их существовании в глубоких слоях земной коры — в стратисфере и может быть в метаморфической геосфере.

Таковы прежде всего смеси $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$, являющиеся вероятно очень сильными кислотами, существование которых можно вывести на основании изучения парагенезиса минералов (например, сухие трещины — Альпийский тип минералов), $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2 - \text{H}_2\text{S}$ (минеральные жилы) и может быть $\text{H}_2\text{O} - \text{HCl} - \text{CO}_2$. Все эти смеси паров, надо думать, содержат N_2 и должно быть CH_4 .

Увеличение температуры приводит на глубине (в среднем почти 10 километров) к температуре критического состояния воды: вода приобретает все свойства газа.

Характерно, что все наиболее здесь известные, смешанные с парами воды газы являются кислыми ангидридами с химической точки зрения, в которых $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ и H_2S — особенно первые два — преобладают.

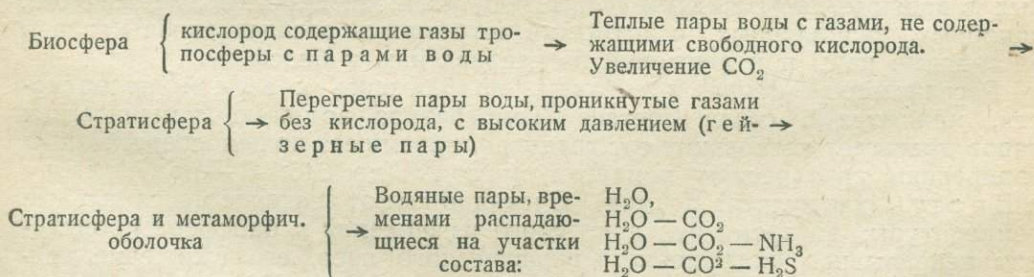
Газообразная H_2O при этой температуре должна быть тоже кислотой (§ 467).

Нахождение с H_2O в этих областях высокого давления и температуры H_2 , CH_4 и других углеводородов может быть только констатировано, но не изучено; здесь начинается область и других газов, как SiF_4 , SiCl_4 , HF и т. п.

Выяснение их значения — дело будущего.

При дальнейшем повышении давления, когда оно приближается к $30\,000\text{ кг/см}^2$, на глубинах около 55—60 км свойства материи не могут определяться нашими представлениями о газе, жидкости, твердом теле. Здесь царит особое надгазовое состояние — газ (т. е. пары воды) не существует.

522. Таким образом мы имеем следующую картину распределения водяных паров в земной коре:



Для $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2 - \text{NH}_3$ (в связи с гейзерами) есть указания на скопления в пустотах газоносных породах? Для других надо допустить их передвижение по трещинам.

Возможно значительное увеличение содержания углеводородов с глубиной.

Все эти газы находятся под большим давлением.

523. Из этой схемы совершенно ясно, что как гейзерные пары, так и другие горячие пары стратисферы и метаморфических геосфер должны обладать совершенно определенным химическим составом, отличным от того, какой имеют пары химически чистой воды: это такие же определенные смеси газов, какими является окружающий нас воздух, — т. е. это особые минералы, состав которых определяется законами физических смесей: это газовые однородные смеси.

Можно в анализе состава таких минералов идти дальше и например для водяных паров тропосферы ставить вопрос о составе газообразных водных молекул, составляющих, как мы видели, от процента и больше по весу состава тропосферы (§ 519). Состоит ли этот газ из химически чистых молекул H_2O , или они вносят с собою в состав газовой смеси с ними связанные („растворенные“) сторонние примеси?

Наши познания здесь очень скудны, и ответить определенно на этот вопрос мы не можем.

Но при всяком сгущении в жидкость водяные пары тропосферы не будут давать химически чистой воды. Они будут при сжижении растворять газы тропосферы и те твердые пылевые вещества, которые в ней носятся и в воде растворимы, особенно гигроскопические, в ней находящиеся.

Эти процессы, не охватимые научно в их сложности, непрерывно идут в тропосфере: пар превращается в капли жидкости или обратно.

Во всяком случае всякая жидкая вода в тропосфере уже не является химически чистой. Она не является такой уже в тех мельчайших жидких каплях, которые собираются в облака и туман и которые мы можем исследовать в виде дождевой и росяной воды.

Это уже формы жидкой воды и относятся к другой минеральной подгруппе воды.

524. Очень своеобразен состав тех горячих паров, которые выделяются в атмосферу во время вулканических извержений, и состав гейзерных струй.

Эти воды, несомненно, не являются чистым водяным паром. Уже в газообразном состоянии до своего сгущения они имеют свой определенный состав, выходят во время химических реакций, идущих в магмах в теснейшей неотделимой смеси других газов, резко отличных от газов нашей тропосферы, в которую они попадают.

Остановимся сперва на вулканических водяных парах.

Во время вулканических извержений мы уже не имеем дела с магматическими водяными парами. Мы имеем дело со смесью этих магматических паров, с парами гейзерными, с парами тропосферы и превращенных в водяные пары жидких вод метеорных, поверхностных, верховодок, напорных, капиллярных, с которыми встретила расплавленная магма и ее водяные пары при движении по направлению к биосфере.

Расплавленная магма и ее газы, приближаясь к земной поверхности, меняются в своем составе. Температура водяных вулканических паров достигает нескольких сот градусов, превышает по непосредственным измерениям критическую температуру воды (до $646^\circ C$ — по Аллену и Циссу — для вулкана Катмай). Очевидно имеют значение максимальные температуры: во время вулканического извержения в биосфере происходит непрерывное охлаждение вулканического пара, его сжижение, связанное с резким изменением его химического состава. Кислота — перегретый водяной газ — переходит в обычный химически инертный водяной пар нашего обихода.

От чисто вулканических паров необходимо отличать дождевые облака во время вулканических извержений, сгущающиеся пары атмосферы, составляющие значительную часть воды, выделяемой во время извержений; но и их состав, в связи с особым газовым режимом вулканов, будет иной по сравнению с обычными метеорными водами: они растворяют пары вулканов и фумарол, такие как HCl , NH_3 , SO_2 и т. п., не говоря о металлических соединениях, нормально отсутствующих в такой комбинации и концентрации в тропосфере.

525. Огромные количества газов, выделяющихся во время вулканических извержений, входят в атмосферу вместе с водяными парами. Они составляют подавляющую часть тех горячих паров, которые сопровождают

всякое вулканическое извержение. Можно было, благодаря ученым геофизической лаборатории Карнеги в Вашингтоне, убедиться, что пары, выделяющиеся непосредственно из лавы во время извержений, состоят прежде всего из воды (§ 464 А).

Такой воды, непосредственно выделяемой в виде паров из лавы, мы имеем по измерениям Дэя и Шеферда (1912) для Килауэа и Аллена и Цисса для Катмаи (1912) от 96,2—99,9% всех выделяемых паров (по весу). Те же числа получаются для вулканов Вест-Индии (80—90%). Значительная часть этой воды магматического происхождения — какая, конечно, решить нельзя.

Важно факт, что вулканические пары состоят в главной своей части из паров воды, и мы можем их рассматривать как водяные пары, обладающие определенным, только им свойственным составом.

Повидимому мы имеем возможность различить эти пары по их составу в зависимости от тех газообразных примесей, которые в их массе содержатся.

Точки кипения этих газовых компонентов очень различны, и потому по мере понижения температуры вулканические водяные пары будут иметь различный химический состав.

Повидимому мы должны отличить два типа водяных вулканических паров, один из которых тесно связан с их охлаждением в биосфере и, очевидно, в земной коре только в ней и находится.

В ней идет процесс:

Перегретые водяные пары выше критической точки воды — А	→	Горячие пары, постепенно охлаждающиеся, — В.
---	---	---

Перелом в их составе дают те газы, которые выделяются совместно с водяным паром из лавы и которые переходят в жидкое или твердое состояние ниже точки кипения воды при условиях биосферы.

Этим путем вода очищается от всех летучих соединений, которые в условиях биосферы не являются газообразными или не удерживаются ее парами (например, бор).

В конце концов мы получаем два типа водяных вулканических паров.

А

В

Содержит летучие компоненты, являющиеся в условиях температуры кипения воды жидкими или твердыми	→	Содержит только газообразные компоненты при температуре ниже кипения воды
--	---	---

526. Благодаря этому можно применить к вулканическим водяным парам те же основные подразделения, какие использованы для жидких водяных масс.

Можно различать рассолы, соленые и пресные пары, при чем для вулканических паров известны только соленые (0,1—5% по весу сторонних газов) и пресные пары.

Обращаясь к тем газам, которые остаются примешанными к вулканическим парам при понижении их температуры до 100°, можно убедиться, что это постоянные газы, т. е. газы, которые находятся в газообразном состоянии вообще в термодинамическом поле нашей планеты.

Это те газы, на основании которых выделены подклассы природных жидких вод.

Очевидно, можно и для паров применить этот принцип классификации.

Свободный кислород, с которым связаны пары атмосферы, здесь отсутствует.

Мы имеем все случаи, указанные в § 232 сл. — азотные, углекислые, сероводородные, метановые и водородные.

Количество водорода в газах Килауэа достигало до 11,8% всех газов; повидимому в Катмаи оно было еще больше.

Более новые работы Шеферда (извержение Килауэа 1919) дали меньшие количества водорода, и повидимому в биосферу входят газы, уже в значительной мере окисленные; после воды идут CO_2 (до 47,7%), N_2 (до 20,0%) и SO_2 (до 13,6%). Водородная вулканическая вода, если и может получиться в биосфере, будет редкой и непрочной.

По газовым компонентам вулканические воды, сгущенные из паров, будут главным образом углекислые и может быть не будут заключать первичного азота, чего мы не знаем повидимому в такой степени для других природных вод.

Могут быть еще воды азотные, азотноуглекислые (углекислородородные; азотноводородные).

Вероятно мы наблюдаем в составе этих вод многочисленные изменения — разности, может быть связанные с ходом вулканических процессов.

527. Несмотря на малую изученность этих вод, можно и должно уже сейчас отметить чрезвычайно своеобразный их характер, резко отличающий их от всех других нам известных вод нашей планеты.

В первое время после своего сгущения в жидкость эти пары дают резко кислые воды, богатые активными кислыми ионами. Они являются природными кислотами.

Сгущенные вулканические пары, судя по анализам, являются, содержащими в растворе газы, слабыми кислотами сернистой, серной, углекислой, отчасти хлористо- и фтористоводородной.

Кислый характер этих вод очень быстро повидимому исчезает в происходящих из них минеральных источниках.

Очень быстро отвечающие им катионы дают солевые растворы, беря из окружающей среды анионы Ca , Na , K , NH_4 , Mg , Al , Fe и т. п.

Пока реакции на окружающие твердые тела не начались, выделяющиеся воды являются водами, богатыми при сгущении анионами — SO_3' , SO_4'' , HSO_4' , CO_3'' ... Очень быстро входит в них при соприкосновении с окружающей средой кремний. Хлор в изученных случаях играет второстепенную роль — но он и фтор несомненно не только присутствуют, но являются характерными элементами.

Кислые ионы меняются во время сгущения, так, например, S является для вулкана Ларсена в Аляске, по Дэю и Аллену, в разные времена сгущения в форме SO_3 , а затем — ионов HSO_4' и наконец SO_4'' .

Насколько можно сейчас судить, такими кислотами по господствующему компоненту являются HCl , H_2SO_4 , H_2CO_3 (распадается) — в меньшем количестве, не являясь преобладающей — H_2S и HF .

528. Кислый характер этих паров не только сказывается в том, что при сгущении они дают своеобразные воды — растворы кислот, но и в том, что эти вулканические пары являются могущественными химическими изменителями окружающих пород благодаря своей температуре и, вне биосферы, высокому давлению.

В этом отношении вулканические пары резко отличны от гейзеровых водяных паров, которые могут давать щелочные скопления при богатстве аммиаком (§ 533).

Мы не знаем почти в земном веществе летучих газообразных щелочей при температурах ниже 100° ; таким является только аммиак. Тогда как для кислот очень многие из них могут существовать в свободном виде в газообразном состоянии при обычных температурах биосферы и при тех относительно низких температурах (ниже $100-200^\circ$), которые отвечают вулканическим водам. Таковы газы SO_2 , SO_3 , HCl , HF , H_2S , N_2O_5 , NO_3 , N_2O_3 , CO_2 , CSO , PH_3 , H_2Se , H_2Te . Возможно нахождение SiF_4 , может

быть SiCl_4 , TiF_4 , галоидных соединений В и As. В общем эти явления к сожалению недостаточно изучены.

В парах воды летят и такие кислоты, которые считаются не летучими, как, например, борная — $\text{H}_3\text{B}_3\text{O}_3$.

529. Есть ряд анализов паров, предпринятых главным образом Геофизической лабораторией Карнеги в Вашингтоне, которые были сделаны до сгущения паров в жидкость, во время вулканических извержений.

Разделение на классы может быть сделано условно; повидимому во время извержения в зависимости от примеси паров воды выбрасываются одновременно струи паров пресные (меньше $10^{-1}\%$ сторонних газов) и соленые (больше 10^{-1} до 1% и больше). Можно было бы без нарушения принципов классификации относить соленый остаток только к твердым компонентам — и тогда все вулканические пары должны были бы рассматриваться как пресные. Но этот способ толкования анализов ничего нам не даст в понимании явления. Я им не пользуюсь.

В отличие от дождевых вод сгущенные в жидкость водяные пары дают точное понятие о своем химическом составе.

Пока можно говорить только о частных случаях.

530. Я приведу ряд отдельных анализов, в виду малого числа достоверных их случаев.

Надо иметь в виду, что анализы вулканических паров сильно колеблются, указывая на резко разный состав водяных паров, выделяющихся или собирающихся в неоднородной вязкой изменяющейся лаве. Отдельные пузыри и полости, даже вблизи лежащие, заполнены газом разного состава.

Часто преобладают богатые $\text{H}-\text{Cl}$ горячие хлористоводородные водяные пары. Так, например, пары водяные во время извержения Катмаи на Аляске дают по E. Ziess'у:

Сторонние воде пары

$$1,6 \times 10^{-1} \% ^1$$

Элементы

$$\text{Cl } 1,2 \times 10^{-1}$$

$$\text{F } 3,0 \times 10^{-2}$$

$$\text{H}^2 4,5 \times 10^{-2}$$

$$\text{S}^3 2,7 \times 10^{-3}$$

Повидимому есть водяные пары, в которых сера в форме H_2S и SO_3 является выступающей на первое место.

Но обычно преобладают пары $\text{H}-\text{Cl}$, и все указывает, что этот хлор играет важную роль в создании солевого остатка морской воды (§ 420).

531. Другие анализы Аллена и Цисса для извержения Катмаи дают следующие числа:

Химический состав остатка от молекул H_2O
вулканических паров

$$\text{Остаток}^4 1,80 - \times 10^{-2}$$

Элементы

$$\text{S}^5 7,4 \times 10^{-1} - 1,8 \times 10^{-3}$$

$$\text{N}^6 5,6 \times 10^{-1} - 4,5 \times 10^{-4}$$

¹ Этот сторонний остаток можно параллелизовать с солевым остатком водных растворов и рассматривать эти пары как соленые. Их формула $\text{Cl}-\text{F}-\text{H}$.

² Из HCl , HBr и H_2S .

³ Из H_2S .

⁴ Анализ паров, заключающий 96,2% воды (Аллен для Килауэа), не дает нужных данных для максимума?

⁵ Принят во внимание только H_2S . Смесь его с H_2 дает до 8,3%. Пары S , COS и т. п. не приняты в расчет.

⁶ Не принят во внимание NH_3 . Едва ли изменит порядок.

$$\begin{array}{l} \text{O}^1 \quad 3,4 \times 10^{-1} - 5,4 \times 10^{-4} \\ \text{C}^2 \quad 2,1 \times 10^{-1} - 2,0 \times 10^{-4} \\ \text{H}^3 \quad 9,8 \times 10^{-2} - 3,0 \times 10^{-4} \\ \text{A}^4 \quad 2,9 \times 10^{-3} - 2,4 \times 10^{-5} \\ \text{Cl}^4 \quad 1,3 \times 10^{-3} - 1,1 \times 10^{-5} \\ \text{F}^5 \quad 3,6 \times 10^{-4} - 3,0 \times 10^{-6} \end{array}$$

Находятся еще He, Fe, Cu, As, B, Na и др.

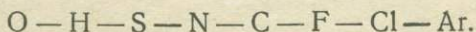
532. Новейшие данные Э. Шеферда (1921) над газами, выделенными лавой Килауэа в 1919 г., дали следующие предельные числа, при чем, как указывалось, колебания состава для отдельных выходов газа были чрезвычайны. За исключением воды, всюду стоящей на первом месте, господствует, главным образом, углекислота (12 выходов), в двух выходах азот ... Мы имеем (в процентных объемах при 1200°):

- I. — Из газовых компонентов преобладает N (2 случая)
II. — Из газовых компонентов преобладает CO₂ (11 случаев)
III. — Оба газа почти в равном количестве (1 случай)

	I.	II.	III.
H ₂ O . . .	75,1—78,7	97,1—36,2	50,9
N ₂	7,9—20,0	6,2—6,8 × 10 ⁻¹	1,50
CO ₂	9 × 10 ⁻¹ —5,8	4,77—1,4	16,4
CO	0—1,6 × 10 ⁻¹	1,5—5,0 × 10 ⁻²	1,1 × 10 ⁻¹
H ₂	0—7,0 × 10 ⁻²	9,6 × 10 ⁻¹ —8,0 × 10 ⁻²	1,0 × 10
Ar	?—1,4 × 10 ⁻¹	6,6 × 10 ⁻¹ —0	2,1 × 10 ⁻¹
SO ₂	4,8—1,0 × 10 ⁻²	11,4—5,1 × 10 ⁻¹	13,6
S ₂	0—0	2,5 × 10 ⁻¹ —0	5,0 × 10 ⁻²
SO ₃	2,4—1,3 × 10 ⁻¹	5,5—0	3,6
Cl ₂	4,1—3,0 × 10 ⁻²	1,1—0	3,8 × 10 ⁻²

Фтор не был определен, но судя по результатам наблюдений во время извержения 1912 г., его должно быть приблизительно вдвое по объему по сравнению с хлором.

По весу элементы располагаются приблизительно в следующем убывающем порядке:



Несомненно есть еще разность, богатая серой, т. е. вулканические пары (газовые), в которых объемное содержание SO₂ доходит до 16,9%, а SO₃ (до 8,1%). Это пары H₂O—SO₂.

533. Совершенно особый тип водяных паров представляют гейзерные водяные пары, которые только недавно начинают выясняться в своем значении (§ 464A), хотя мы уже давно имели понятие как о их составе, так и о происходящих из них жидких разностях природной воды.

Как указано уже, эти воды богаты аммиаком и могут быть рассматриваемы, как щелочные пары, хотя в них содержатся и анионы HS (resp. SO₄) недостаточные по видимому при высокой температуре для нейтрализации NH₃. К сожалению химический характер этих вод еще не может считаться точно установленным. Однако резкое отличие их от вулканических паров несомненно бросается в глаза.

¹ Входит O₂ (из воздуха — до 4,1 × 10⁻²%), CO₂ (до 4,0 × 10⁻¹%), CO (до 9,6 × 10⁻³%). Не приняты во внимание SO₃, SO₂, CSO и т. п. Едва ли они изменят порядок.

² Приняты во внимание CO₂ (до 4,0 × 10⁻¹%), CO (до 9,6 × 10⁻³%), CH₄ (до 1,0 × 10⁻¹%) Не приняты во внимание CSO, непредельные углеводороды. Едва ли они изменят порядок.

³ Приняты H₂S + H₂ (до 8,3 × 10⁻¹%), CH₄ (до 1,0 × 10⁻¹%), HCl (до 1,4 × 10⁻³%), HF (до 3,8 × 10⁻⁴). Не приняты чистый H₂, NH₃, углеводороды, кроме метана. Вероятно, перейдет в первую декаду.

⁴ Не принят во внимание HCl. Едва ли изменит порядок.

⁵ Не принят во внимание HF. Едва ли изменит порядок.

Новые работы Э. Аллена и А. Дэй в Калифорнии (1927) дают основание заключать не только о своеобразии этих вод, но и о их значении в механизме земной коры.

Температура этих вод значительно более низкая, но выше температуры кипения воды — колеблется от 150 до 190° С.

Химически изученные гейзеровые водяные пары и в Италии и в Калифорнии захвачены приблизительно на одной и той же глубине — около 210 метров от земной поверхности.

Химический состав этих паров дает по весу:

Газовый остаток 1,5 — 14,6¹

CO ₂	1,25 — 8,6 ^{0/0}	H ₃ BO ₃	5,0 × 10 ⁻³ — 3,25 × 10 ⁻³
CH ₄	2,5 × 10 ⁻¹ — 3,1 × 10 ⁻³	Ar	4,2 × 10 ⁻³ — 1,0 × 10 ⁻³
N ₂	1,5 × 10 ⁻¹ — 2,1 × 10 ⁻²	He	2,0 × 10 ⁻³ — 1,1 × 10 ⁻⁴
H ₂	1,4 × 10 ⁻¹ — 4,1 × 10 ⁻³	H ₂ SO ₄	6,0 × 10 ⁻⁶
H ₂ S	1,5 × 10 ⁻¹ — 4,1 × 10 ⁻²	R ⁿ	4,3 × 10 ⁻¹⁶
NH ₃	2,4 × 10 ⁻² — 1,0 × 10 ⁻²		
O ₂	1,2 × 10 ⁻² — 1,1 × 10 ⁻³		

534. В некоторых случаях полезно выразить состав этих паров в объемах.

Так же для Fore Forte в Лярдерелло Р. Назини дает для пара, взятого в августе 1911 года, следующий анализ:²

Объемные проценты (при 148° С и 2280 мм давления (т. е. три атмосферы))

H ₂ O	97,40	O ₂	6,52 × 10 ⁻²
CO ₂	2,36	Ar	5,24 × 10 ⁻³
H ₂ S	7,36 × 10 ⁻¹	He	3,34 × 10 ⁻³
H ₂	5,64 × 10 ⁻¹	H ₃ BO ₃	3,25 × 10 ⁻¹ (граммы)
CH ₄	4,71 × 10 ⁻¹	H ₂ SO ₄	5,96 × 10 ⁻³ "
NH ₃	3,13 × 10 ⁻¹		
N ₂	2,87 × 10 ⁻¹		

625 литров паров весят 1 килограмм.

В этих парах содержится еще кальций (из пыли) и органические вещества.

Характерны для этих газов — углекислый характер газового остатка и сравнительно с CO₂ бедность азотом. Может быть это связано, как думают Дэй и Аллен, с магматическим происхождением газов. Но относительное богатство аммиаком совершенно при этом непонятно. Р. Назини указывает, что в отличие от других компонентов количество аммиака сильно колеблется. Возможно, что скопления перегретых газов под давлением (гейзерных) образуют в земной коре самостоятельные массы, аналогичные магматическим очагам, но от них далекие. Конечно, это могут быть — и вероятно суть — не пустоты, наполненные газом, а газоносные породы. Я вернусь к этому ниже, так же, как вернусь и к вопросу об аммиаке, в главе о геохимии азота в природных водах.

При сгущении этих паров образуются воды, очень своеобразные, богатые аммонием, бором, кремнием. Большею частью это воды соленые, но есть и пресные.

3. Химический состав жидких фаз природных вод

а) Общие замечания

535. Вода в жидком состоянии резко господствует в областях планеты, наилучше изученных; в биосфере она близка по весу по крайней мере половине всей массы воды земной коры (§ 40).

¹ Для Калифорнии от 1,5 до 6^{0/0} по весу.

² По объему для Калифорнии: H₂O 98,045 — 99,202

CO₂ 1,242 — 0,520

CH₄ 0,299 — 0,098

H₂ 0,287 — 0,093

N₂ + Ar 0,069 — 0,022

H₂S 0,042 — 0,029

NH₃ 0,025 — 0,018

Для природных водных растворов установлены многочисленные разности на основании тысяч химических анализов. Число разностей растет по мере того, как растет число анализов.

Как указано однако (§ 353), эти анализы распределены неравномерно; огромная часть природных вод, может быть даже геологически чрезвычайно важных, ими не затронута.

Поэтому таблицы анализов, здесь приводимые, явно не охватывают многих важных минералов, сюда относящихся.¹

К сожалению, почти всегда эти не представленные в анализах водные растворы остаются без внимания и в суждениях о природной воде. Конечно, наши знания об этих водах очень недостаточны, мы далеко не всегда даже можем сравнивать их с водами, которые анализированы. Конечно надо пользоваться неизбежно косвенными наведениями с большой критикой и осторожностью.

Однако все же известные выводы должны быть сделаны, и их нельзя оставить без внимания и об них умалчивать. Эти воды без анализов существуют реально, играют очень большую роль в истории природных вод и в химии нашей планеты. Умолчание о них несомненно приводит к искаженной и неверной картине природы. Введение их в наши суждения позволит подойти в конце концов к научному охвату истории природных вод, а сейчас вносит в те временные построения, какие мы делаем, существенные поправки. Где это возможно, я эту поправку вношу.

536. Но есть ряд вод — огромная их область, — где анализ сейчас отсутствует еще и потому, что методика его неясна и объект исследования непосредственно недоступен человеку. Это те водные структуры, которые создаются под влиянием частичных сил на границах между водным раствором и твердым веществом планеты в земных покровах — в почвах, илах и глубже в подземных водах вообще. Здесь из неизбежно образующегося равновесия:

твердое тело $\rightarrow$ гигроскопический водный раствор $\rightleftharpoons$ пленочный
водный раствор $\rightleftharpoons$ капельножидкий водный раствор

мы лишь иногда можем анализировать только последнюю часть равновесия.

По мере углубления в твердую кору эта последняя часть равновесия уменьшается в своем значении, и с некоторой глубины она совсем не проявляется.

Для таких волосных вод, где она отходит на второй план и где ярко выступают воды гигроскопическая и пленчатая, наши знания о химическом состоянии растворов ничтожны, так как нет еще методики исследования.

Их исследование — дело будущего.

Но и для других подземных вод, где ярко выражены пленчатые составные части равновесия, т. е. для вод пластовых и почвенных (также иловых), сейчас наши знания очень неполны.

Реально мы не умеем выделить из почвы проникающий ее почвенный раствор.

Мы знаем, что существуют многие десятки видов почвенных водных растворов, но выразить для них количественный химический состав

¹ В эти таблицы введены пределы тех колебаний, которые наблюдались в действительности. К сожалению, как оговорено в предисловии, но что я считаю необходимым подчеркнуть еще раз — не учтено количество анализов, отвечающих этим числам. Поэтому в иных случаях пределы отвечают многим сотням анализов, в других — очень немногим, меньше десятка. Я сделал это упущение (не считать число анализов) в начале работы, а поправлять было уже невозможно. По возможности я пользовался первоисточниками, но большие сводки приняты во внимание. Я смотрю таким образом на указанные здесь предельные числа, как на первую пробу, подлежащую изменению в дальнейшем, если этот новый способ выражения природного явления войдет в жизнь.

мы не можем ни в целом, ни в их капельножидкой (гравитационной) составной части. Однако благодаря работе русских ученых (А. Г. Дояренко, А. Ф. Лебедев) для капельножидкой составной части мы в ближайшее время очевидно должны получить точные количественные химические данные.

Для подземных пластовых вод есть количественные анализы, но эти анализы дают отдаленное представление о химии вод стратисферы и глубже. Мы можем получить для сравнения образцы, которые или достигают биосферы природным процессом или же добыты бурением человеком. В обоих случаях изучается часть воды равновесия — капельножидкая, которая выдвливается из сложной расслоенной водной системы, проникающей твердую среду.

Эта часть как-то связана с остальными водами равновесия. Дело будущего выяснить существующие здесь закономерности.

Больше наши знания о восходящих водах — минеральных источниках. К этому семейству принадлежат большинство установленных видов этого подцарства.

Так же могли бы быть изучены и воды подземных водных вместилищ или воды гейзерные, сопочные, вулканические, но для них количественных данных собрано очень мало. На них мало обращают внимания.

Как мы видим, наши химические сведения о составе подземных природных растворов отрывочны и неполны. Для пресных вод их легче получить, чем для соленых и рассольных, но это мало отражается в имеющемся в нашем распоряжении материале.

537. При обзоре имеющихся данных оставлены без рассмотрения, по необходимости, как раз те воды, которые не изменены или мало изменены человеческой культурой. Ибо таковы подземные воды стратисферы и более глубоких оболочек.

Сознательно оставлены мною в стороне те воды суши, которые очень сильно изменены отбросами человеческой жизни и техники.

Им есть место в классификации, и они, очевидно, так же мало представляют случайное явление, как мало им является человеческая культура.

Но, несмотря на все часто резкое их отличие от „природных“ вод, они в общей истории природных вод пока играют малую роль. В истории минералов ими можно пока пренебречь.

538. Но влияние человеческой культуры очевидно отражается — и помимо этого — в современных нам водных растворах на каждом шагу.

Ибо ею изменен весь облик живой природы и ее космической среды — облик биосферы.

Едва ли где так сильно чувствуется геохимическое влияние человечества, как в химическом составе вод суши (§ 129 сл., 560). Воды суши нашей психозойной эры по существу отличны от тех же вод четвертичной эры, если называть этим последним именем эпоху до появления великих человеческих культур. Человек изменил и изменяет их состав непрерывно, и темп изменения все усиливается. Сейчас исчезают последние девственные речные бассейны, где влияние культуры мало сказывалось или даже не сказывалось. Приводимые ниже данные о химическом составе рек и озер не передают целиком этого влияния, так как из него исключены воды, явно загрязненные культурой. Неявно все воды „загрязнены“ — и все больше меняются, т. е. „загрязняются“.

Человеческая культура есть такое же природное явление, как и все другие. „Загрязнение“ культурой вод есть закономерное явление в истории вод — неизбежное, предуставовленное ходом геологического времени. По существу дела мы должны принимать во внимание в приводимых пределах и состав рек, резко измененных культурой.

Мы этого не делаем пока потому, что общая картина явлений еще не установлена.

Картина, которую мы даем в наших числах, таким образом до известной степени отличается от реальной; она изменена нашим идейным построением. Она приближается (как география растений или животных) к отдаленному времени, к той девственной природе, древнему четвертичному времени, когда человек существовал, но когда еще его цивилизация была малосильна по отношению к окружающей его природе.

Эта цивилизация повидимому еще мало меняет, но несомненно все сильнее меняет — воду гидросферы. Она меняет ее важные источники — воды почв, метеоров и рек. Уже поэтому состав морей сейчас другой, чем был сто тысяч лет тому назад. Количественно учесть это изменение мы пока не можем. Оно представляется нам незначительным.

539. В подгруппе жидких фаз природных вод мы имеем наиболее резкое выражение той классификации, какая принята в этой книге. Все подразделения выражены здесь, с одной стороны, наиболее типично, и, с другой стороны, благодаря разнообразию вод и чрезвычайной их подвижности в земной коре, наблюдаются переходы между логически установленными гранями.

Изучение этих переходов позволяет глубже охватывать историю природных вод, так как они не являются случайными, а указывают на существование определенных явлений, повторяющихся природных процессов, характеризующих строение земной коры. Это изучение особенно важно еще потому, что оно должно привести к уточнению нашего знания, так как часть переходов (например между пластовыми водами и минеральными источниками) есть явление кажущееся, связанное с трудностями различия разных вод.

Переходы реальные и кажущиеся наблюдаются между всеми подразделениями. Так они существуют между основным делением на царства или на классы.

Царства поверхностных или подземных вод в природе не являются так резко раздельными, как это логически казалось бы следовало. Воды подземные — почв и иловых отложений — совершенно постепенно и незаметно переходят в воды метеорные — воды рос — или в такие поверхностные воды, какими являются лужи (§ 591). Между водами пластовыми и выходящими водами минеральных источников — есть все переходы. Очень часто (§ 710) мы не можем точно решить, с какого рода водами мы имеем дело при нашем изучении.

Два явления и здесь и дальше должны быть отмечены. С одной стороны, переходы, связанные с длительным природным процессом, между генетически между собою связанными водами, например росяные воды на влажных почвах. Границу между этими водами приходится проводить искусственно. Мы еще не так ясно сознаем это явление, так как ни росяные воды, ни почвенные растворы не изучены с химической точки зрения.

Еще более затруднений представляют случаи механического смешения, когда образовавшиеся воды смешиваются друг с другом естественными процессами. Эти явления резко выражены в пределах подцарств. Так на каждом шагу смешиваются (проникают друг друга) разные пластовые воды или воды минеральных источников.

Но и это явление не есть случайное. Случаи такого рода подлежат классификации, и их изучение несомненно выяснит новые природные процессы.

540. Те же переходы существуют и между классами и подклассами. Пресные, соленые, рассольные воды закономерно — не случайно, как это часто говорят, — смешиваются.

Можно и здесь различить два разных случая: во-первых, генетические переходы, во-вторых, механические в природных процессах смешения.

Второй пример представляют вадозные, пресные воды — верховодки или верхние пластовые, — при встрече их с идущими из глубин стратисферы

или еще глубже восходящими водами, с ними смешивающиеся. Это явление, с которым на каждом шагу встречается исследователь минеральных вод и которое имеет огромное значение в бальнеологии.

Как постоянно повторяющееся явление, оно подлежит тщательному изучению и очевидно должно вскрыть перед нами важные и большие черты истории природных вод.

Пока мы очень далеки от этого, и общие законности таких смешений не изучены.

541. Меньшее значение в масштабе природных процессов имеют генетические смешения между классами. Они тоже недостаточно изучены. Любопытные примеры этого явления наблюдаются среди озер в областях или полупустынных, или пустынных, или же в таких, в которых наблюдаются резкие климатические изменения (жаркое лето, влажная осень, например), или в тех случаях, когда в структуре озер есть явления, вызывающие изменения одной их части (например выход пресных подводных источников в мелкий соленых бассейнах).

Но есть случаи, где одно и то же озеро непрерывно имеет в разных своих частях разную воду. Установилось известное равновесие. Таково, напр., озеро Чад в Сахаре или у нас такие озера, как озеро Чаны в Барабе. Здесь соленое озеро Чаны постепенно меняет свою воду в направлении той своей части, пресной („опресненной“), которая называется Малым Чаном. Озеро Чаны охватывает 3000 км^2 при глубине, не превышающей 7—9 м, причем эти большие глубины очень редки. В сущности это постоянная большая лужа. Его вода постепенно переходит от соленой ($4,56 \times 10^{-10}/\%$ солевого остатка) в пресную ($4,3 \times 10^{-20}/\%$). Меняются все составные части, например Cl от $1,75 \times 10^{-10}/\%$ до $2,40 \times 10^{-20}/\%$ (И. Ауэрбах и А. Березовский, 1927).

Случаи этого рода очень разнообразны, например есть озера (Мертвое озеро на остр. Кильдине), где сероводородная соленая вода наблюдается на глубинах, а на поверхности — вода пресная.

В областях ливней и больших дождей на каждом соляном озере и на огромных площадях морей образуются пресные и опресненные верхние слои, более или менее быстро исчезающие.

Бесчислены явления этого рода, но они не нарушают принципов классификации, а только сами, в рамках этих принципов, могут быть охвачены научной мыслью. Ибо только на почве классификации вод можно отличить типические случаи и выявить существование отклонений или исключений, каковыми являются переходы.

542. Эти переходы имеют особенную интенсивность в тех случаях, когда принятые для классификации вод их признаки обладают подвижностью, от свойств воды независимую. Таковы газовые компоненты, приводящие к выделению подклассов.

Об их огромном значении для понимания истории подземных вод уже указывалось.

Особенно важно то, что они характеризуют целые геосферы, как, например, характерный для верхней части биосферы растворенный в воде свободный кислород (§ 233).

Благодаря смешению создаются новые подклассы и благодаря подвижности газов, могут происходить мало отмеченные до сих пор закономерные переходы одних подклассов природных вод в другие.

543. Как уже указано (§ 232), число газов, имеющих значение для установок подклассов, очень незначительно. Их всего 7—8: CO_2 , N_2 , O_2 , CH_4 , H_2S , H_2 и углеводороды, которые наблюдаются в некоторых нефтяных водах (§ 252) — пропан, бутан, этан. Возможно, что при дальнейшем исследовании роль углеводородов еще больше увеличится. Разные комбинации этих газов и колебания их количеств определяют подклассы.

Колебания общего их содержания количественно наблюдаются в относительно узких пределах. Я уже на это указывал. Содержание растворенных газов отвечает в водах биосферы порядку $10^{-3}\%$ — в пределах $3-5 \times 10^{-3}\%$. Только воды, попадающие в нее из глубоких слоев земной коры (пластовые и минеральных источников), благодаря постоянному переходу HCO_3^- и CO_3^{2-} в газообразную CO_2 , благодаря уменьшению давления дают в биосфере неустойчивое ее содержание, равное порядку $10^{-1}\%$, достигая $3 \times 10^{-1}\%$. Но эта величина временная, преходящая, не отвечающая той газовой константе, которая существовала для этих вод в глубинах коры в их нормальной обстановке. Там их газовые компоненты могли быть много меньше 10^{-3} , едва ли могли ее превысить. Очень возможно, что вся углекислота была связана (в виде двууглекислых солей) и как газ не существовала.

Количественные изменения в связи с глубиной в подземных водах для метана и азота не изучены. Для азота есть указания, требующие проверки на содержание его в восходящих минеральных соленых источниках в количествах, превышающих его нахождение в водах наземных. Его процент в воде $\text{Cl} - \text{Na}$ и $\text{O} - \text{C} - \text{Na} - \text{Ca}$ доходит до $9,4 \times 10^{-3} - 1,2 \times 10^{-2}\%$. К сожалению эти важные явления мало обращают на себя внимания. Я вернусь в нем еще в главе о геохимии азота в природных водах.

Как будто в глубоких водах газовые компоненты в среднем уменьшаются в своей величине, и подземные и глубинные воды ими обеднены. Я вернусь к рассмотрению этого явления в главе о геохимии природных вод, в истории в них азота, серы и углерода.

544. Среди природных газов мы должны резко выделить по физическим свойствам в пределах физико-химического поля земной коры — газы, в пределах этого поля не переходящие в жидкость, каковы кислород, азот, метан и газы, которые в части этого поля могут находиться не в газообразном, но и в жидком состоянии, каковы углекислота, сероводород, углеводороды (за исключением метана и вероятно этана). Выводы, которые отсюда проистекают для природных вод, очень важны, но к сожалению явление это мало или совершенно не изучено. Приходится поэтому коснуться его здесь явно недостаточно.

Другим свойством природных газов является их химическое соединение с водой при их растворении: в таком соединении всегда, даже в чистой воде, будет находиться CO_2 , которая дает диссоциирующую молекулу H_2CO_3 , распадающуюся на ионы H^+ и HCO_3^- , при чем большая часть углекислоты в чистой воде при атмосферном давлении находится в газовом растворе. При увеличении давления и в присутствии других ионов, в соленых и рассольных водах в особенности, устойчивыми являются карбонаты и бикарбонаты, и свободная угольная кислота в газовом растворе сходит в конце концов на нет. Три других важных газа, как SO_2 , SO_3 и NH_3 , совсем в газовом растворе в воде не находятся.

545. Таким образом в водах земной коры, в газовом растворе, всегда будут находиться только постоянные газы — N_2 , O_2 и CH_4 . Из них метан к сожалению так мало изучен в этом отношении, что его приходится оставить при классификации вод без рассмотрения.

Остаются таким образом азот и кислород, которые позволяют выделить основные подклассы вод, причем необходимо и удобно различать в этих подклассах два ряда — ряд, где находятся оба газа, и ряд, не содержащий кислорода.

Это деление чрезвычайно важно и удобно, так как сразу определяет характер природных вод. Кислород находится только в водах верхней биосферы. Азот характеризует и воды более глубокие.

Азотный ряд подклассов вод без кислорода характеризует все воды ниже биосферы и определенные виды вод биосферы. Кислородный ряд характерен только для вод верхней биосферы.

Есть еще третий ряд — углекислый, но это воды переходящие, неустойчивые, которые образуются из восходящих, более глубоких слоев вод при разложении ионов HCO_3' и CO_3'' и перехода их в CO_2 . К сожалению отсутствие анализов не позволяет нам установить эти воды более точно. Воды углекислые не содержат кислорода.

Таким образом в трех рядах только один азот находится во всех, но в углекислых он в некоторых сильно уменьшается, является примесью.

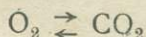
О значении этого явления я буду говорить позже.

Есть еще особый ряд природных вод, который может быть здесь только отмечен и к значению которого я вернусь во второй части книги — в главе о геохимии воды. Это воды, заключающие радиоактивные газы — эманации. Здесь повидимому всегда богатство эманации связано с характером и с движением газов, входящих в воду в той или иной форме — а не с химией самой воды.

546. Чрезвычайно важен в истории природных вод источник газов, на основании которых устанавливают подклассы.

Основным для биосферы является газовая оболочка планеты, тропосфера, главный резервуар N_2 , O_2 , CO_2 .

В биосфере и во всех природных водах идет резкое изменение газового режима действием жизни, жизнедеятельностью организмов. Организмы создают O_2 , N_2 , CO_2 , CH_4 , H_2S . Они поглощают и переводят в ионы и в соединения эти же газы. Иногда можно установить полный замкнутый цикл создания и исчезания этих газов под влиянием жизни, например, для



Мы увидим, что газовый режим всех вод биосферы, особенно поверхностных, обуславливается в своих основных чертах жизнью.

Тропосфера и живые организмы — источники свободного кислорода — характеризуют биосферу, но газы попадают в природные воды, в том числе и в воды биосферы, и другим путем — из более глубоких частей земной коры.

547. Источником газов, наблюдаемых в подземных водах или выделяемых в биосферу газовыми струями и газовыми испарениями и позже растворяющихся в водах биосферы, очень часто являются те же вадозные газы тропосферы или газы биогенные. Они вновь возвращаются водами или струями назад в место своего генезиса.

Но есть газы подземных вод, которые явно имеют другое происхождение или так отдаленно связаны с биосферой, что эта связь теряет значение в том аспекте, в каком мы рассматриваем это явление.

Такие газы проявляются в биосфере в подземных атмосферах; мы можем их наблюдать в двух формах выделения из этих атмосфер — в газовых струях и в водных растворах, часто между собою смешанных. Из их изучения мы имеем возможность эмпирически точно заключать о газовом режиме вод за пределами биосферы.

В газовых струях выделяются N_2 , O_2 , CH_4 , He , H_2 , H_2S , CO_2 , CO , C_2H_6 , C_2H_4 , Xe , Ne , Kr — может быть другие углеводороды, CSO и NH_3 . Эти газы связаны повидимому с метаморфическими процессами в стратисфере и в верхней метаморфической геосфере. Очень характерно здесь присутствие большого количества углеводородов, что указывает на большее их значение в подклассах подземных пластовых вод, чем мы это сейчас думаем.

Возможно, что сопочные газы примерно того же характера представляют частный случай газовых струй, связаны и с ними и с минеральными источниками.

548. Отдельно надо поставить газовые струи, связанные с магматическими очагами — как с вулканическими фумаролами, так и с послевулканическими процессами.

Здесь можно различить по крайней мере три формы газовых проявлений:

1. Фумарольные — N_2 , O_2 (из тропосферы?), HCl , HF , Cl_2 , F , H_2S , SO_2 , SO_3 , CSO , CO_2 , CH_4 (и другие углеводороды), B_2O_3 (в парах воды — § 533—534), S_2 , H_2 , благородные газы. Ряд летучих металлических соединений, как Cu_2Cl_2 , $PbCl_2$ и т. п., быстро теряет свой газовый характер как при охлаждении, так и при соприкосновении с водой, почему с рассматриваемой точки зрения теряет для нас интерес. Огромное большинство фумарольных газов имеет тот же характер. Остаются N_2 , (O_2 ?), H_2S , CSO , CO_2 , CH_4 , H_2 , благородные газы.

2. Послевулканические струи: N_2 , (O_2), CO_2 , H_2S , CH_4 .

3. Гейзерные струи (§ 533): CO_2 , H_2S , NH_3 , B_2O_3 .

Все эти газы растворяются как в водах биосферы, куда достигают, так и на пути в биосферу в водах глубинных и подземных, которые попадают в биосферу; они и характеризуют подклассы.

Все нам известные подклассы подземных вод характеризуют только воды суши. Подземные воды гидросферы нам неизвестны (§ 92), за исключением морских иловых вод.

549. Семейства выделяются на основании местонахождения данной воды в земной коре. По существу они обуславливаются геологическими и географическими причинами, т. е. строением планеты и ее историей, главным образом земной коры, и той диссимметрией в структуре ее, на значение которой указывалось (§ 74 сл.). В связи с этой диссимметрией резко выявляется географический характер в выделении семейства природных растворов.

С этими, и геологическими и географическими, причинами, благодаря совершенно своеобразному складу физических свойств воды, резко связаны — и проявляются в семействах — физические состояния воды и обуславливаемые ими структура и состав природных водных растворов.

Как уже указывалось (§ 41), два явления здесь особенно имеют значение: распределение физических состояний воды (которое положено мною в основу всей классификации в делении на подгруппы — § 334) и проявление частичных сил, которое особенно резко сказывается в водных растворах, когда они входят в контакт с твердым веществом планеты.

Это явление резко выражается в характере семейств и могло бы быть положено в основу крупного деления подгруппы жидких вод на три (может быть четыре) больших резко различных царства природных вод. Царства могут быть разделены на подцарства, в которых распределяются семейства.

Можно сейчас выделить три царства (§ 336):

Поверхностных вод (включая и метеорные)

Подземных вод (включая и почвенные воды)

Глубинных вод.

550. В таком делении проявляется чрезвычайно глубокое отличие вод, тесно связанное с диссимметрией земной коры и вероятно с общим строением планеты.

Царство поверхностных вод есть царство вод биосферы, охватывающее наибольшую массу воды земной коры, всем нам известную, — семейства рек, озер, океана и морей, луж и т. п.

Царство подземных вод является промежуточным между водами биосферы и водами глубинными, которые до биосферы не доходят. Подземные воды тесно соприкасаются и в своем происхождении и в своем бытии с водами биосферы, лишь постепенно — с углублением — выходя из ее влияния. Связь с биосферой является их характерным признаком.

Царство глубинных вод, едва нам известное, отделяется от вод биосферы водами подземными. Оно подходит в своем нижнем основании к границе существования жидкой воды на нашей планете.

551. Жидкая вода может существовать при больших давлениях, которым подвержены подземные и глубинные воды при температурах, превышающих 100° — точку кипения чистой воды на земной поверхности.

По мере углубления точка кипения повышается. По исчислениям С. Аррениуса жидкие растворы могут существовать на глубинах 27—540 метров при температуре ниже 185° , соответственно 365° С.

Но природная жидкая вода может существовать и при более высокой температуре, чем критическое давление химически чистой воды ($364,3^{\circ}$).

Необходимо принимать во внимание не критическую температуру химически чистой воды, а критическую температуру природных водных растворов. Она выше, на сколько — неизвестно. И. Фохт принимает ее примерно на несколько десятков градусов выше — до 425° С. Но все эти выводы шатки и требуют экспериментальной проверки.

Если принять температуру в 425° и допустить, что повышение температуры, наблюдаемое нами в биосфере и в верхней стратисфере, продолжается вглубь с тем же темпом, то граница подземных вод будет лежать где-то на глубине, в среднем выше 10 километров (ок. 13-14 км?) (§ 49).

Все эти выводы однако проникнуты экстраполяцией, что надо всегда помнить.

Состояния сложного земного вещества под давлениями, исчисляемыми тысячами и десятками тысяч атмосфер, при температурах в сотни и тысячи градусов, нам научно неясны.

Особенно это имеет место по отношению к природным водам. Глубинные воды теснейшим образом связаны с твердым веществом, образуют с ним те своеобразные динамические равновесия, о которых нам приходится всюду говорить. И если можно еще судить о капельножидкой глубинной воде этих равновесий, то о пленочной и гигроскопической их частях мы ничего не знаем и даже для экстраполяций не имеем сколько-нибудь заслуживающих внимания основных данных.

Ведь и капельножидкая и пленочная воды являются растворами; это не доказано, но возможно для пленочно-молекулярной воды (§ 12). Растворы в этих термодинамических полях не изучены. Здесь меняется понятие о фазах, так как для пленочной воды, а тем паче для гигроскопической исчезает газовая фаза при равновесиях при обычной температуре.

Глубинные воды сейчас почти нацело выходят из поля научного зрения.

552. Строение подземных вод представляет целую гамму изменений от резко выраженных капельножидких растворов (минеральные источники например) до вод, в которых капельножидкая часть отходит на второе место (например почвенный раствор в сухой почве или волосная вода горных сухих пород).

Основываясь на структуре раствора и на его положении в вертикальном разрезе земной коры, возможно выделить среди царства подземных пресных вод следующие подцарства:

1. Подцарство верхних земных покровов — пленочные и капельножидкие воды приблизительно равноценны.

Биосфера

2. Подцарство пластовых вод — пленочные и капельножидкие воды приблизительно равноценны.

Биосфера и стратисфера

3. Подцарство подземных водоемов — капельножидкие воды преобладают.

Биосфера и стратисфера (верхняя?)

4. Подцарство восходящих вод — минеральные источники, жильные воды, вулканические, гейзерные, сопочные воды — капельножидкие воды преобладают.

Стратисфера? Метаморфическая геосфера и ниже

5. Подцарство волосных вод горных пород — капельножидких вод нет. Все геосферы.

На поверхности планеты из подземных вод непосредственно доступны только воды верхних покровов, почвенные растворы, иловые растворы на дне поверхностных водоемов и волосные растворы наземных пород. В общем они образуют сплошную водную оболочку (§ 46). Восходящие воды выходят в немногих точках на земной поверхности. Они связаны с тектоническими ныне идущими или замирающими процессами, с магматическими очагами не позже верхнетретичного возраста (ср. § 299). Если нанести на карту все известные места выходов минеральных источников, вулканов, сопок, едва ли много больше 10—20 000 точек (резко преобладают минеральные источники), то мы получим относительно небольшие области суши, где они расположатся. Эти воды очень быстро изменяются, неустойчивы в условиях биосферы.

Подземные воды, верховодки (родники), воды напорные пластовых и подземных водоемов — в некоторых случаях имеют сообщение с биосферой и выходят на земную поверхность.

Деятельность человека чрезвычайно увеличивает число выходов пластовых вод на земную поверхность; это буровые воды, полученные путем бурения, и колодцы.

553. Для подземных вод гораздо большее значение, чем эти выходы их капельножидкой составной части (§12), имеет их непосредственная связь с тропосферой и с метеорными водами через почвенные растворы и поверхностные воды.

Как уже было указано, значительная часть этих подземных вод (§ 500) связана, — „питается“ — метеорными водами. Это явно для почвенных растворов, но то же самое (в иной форме) существует для пластовых вод и вод подземных водоемов. Я касаюсь этого во второй части книги — здесь же необходимо сделать лишь несколько ориентирующих замечаний.

Пластовые воды проникают водопроницаемые породы. Главная масса воды — или осторожнее сказать очень значительная часть их воды — метеорного происхождения, прошедшая тем более долгий путь от земной поверхности, чем глубже лежат водопроницаемые пласты, ее содержащие. В зависимости от положения пластов места проникновения метеорной воды могут лежать очень далеко от места выхода (например, при бурении) пластовой воды. Воды пласта по отношению к данному месту становятся напорными, обладают тогда давлением, главным образом гидростатического характера (§ 693).

Многочисленные вопросы этого рода возникают на каждом шагу при изучении подземных вод этого подцарства. Здесь можно только очень слегка коснуться их, так как химически воды эти изучены чрезвычайно мало.

Третье подцарство изучено еще меньше, и генезис его вод связан с метеорной водой еще более сложным путем.

554. Четвертое подцарство (§ 552) в подавляющей части своих вод прямо не связано с водами метеорными, а косвенная связь очень сложна и редко может быть установлена.

В стратисферу, куда попадают — например, в нижние ее горизонты — эти подымающиеся воды, они входят уже под большим давлением. Это давление совсем иного происхождения, чем гидростатическое давление пластовых вод. Оно связано с давлением газов, зарождающихся иногда вне-

запно и быстро при химических реакциях, в связи с магматическими очагами, или связано с давлением гравитационным, следствием часто (может быть всегда) орогенетических процессов.

К нам в биосферу эти воды неизбежно должны притти сильно измененными. Ибо они, обычно на протяжении километров, проходят через стратисферу и биосферу, полных разнообразными водами, и неизбежно смешиваются и изменяются (и в свою очередь изменяют) пластовыми водами, которые они пересекают.

Сейчас нет возможности в огромном большинстве случаев установить характер основной части этих вод, который в конце концов всегда сведется к горячим водным парам.

Эти пары, занимающие все мельчайшие пустоты земных глубин, сами непрерывно меняют пластовые воды — тем больше, чем температура пластовых горизонтов выше, т. е. чем пластовые воды лежат глубже от земной поверхности. Наши представления об этих областях и этих минералах воды смутны, и научной работой эти явления, можно сказать, не затронуты.

555. Таким образом нам недоступны неизменные воды, поднимающиеся снизу, и все воды, которые доходят до земной поверхности, превратились в новые образования, изучая которые можно — пока только теоретически — восстановить воды исходные.

Это задача, к которой должна стремиться наука, но которая сейчас очень далека от решения, даже в первом приближении.

Из всех этих вод наиболее разнообразны и наиболее изучены минеральные источники (§ 710 сл.). По отношению к ним научный, нам доступный материал требует переработки. В имеющихся анализах сейчас трудно отличить минеральные источники, независимые в своем происхождении от пластовых вод, ибо ими часто являются естественные выходы глубоких пластовых горизонтов. Еще больше существует минеральных источников, полученных искусственно — бурением, которые по существу являются пластовыми водами.

Сейчас точно различить их мы не можем. Это дело будущего.

Необходимо помнить, что состав и минеральных источников и пластовых вод есть величина постоянная в том смысле, как это имеет место по отношению ко всем геологическим явлениям. На протяжении 100 лет это проверено и химическими анализами. К указанным примерам (§ 457) можно прибавить еще Кеммерн, состав которого неизменен 90 лет (И. Купцис. 1929).

Числа анализов, пределы колебаний, здесь приводимые, должны быть переработаны и уточнены. Повидимому однако общая картина коренным образом не изменится.

556. Семейства делятся на виды, подвиды, разности на основании химического состава того остатка, который получается после удаления молекул воды, какого бы характера этот остаток ни был (§ 347).

Необходимо иметь в виду при этом, что наше представление о резком преобладании для природных вод в этом остатке ионов и гидратных комплексов, взятое в целом, едва ли правильно; оно связано с преходящим состоянием наших знаний. Гидратные комплексы не введены в характеристику вод.

Глубинные воды должны иметь совсем другой состав, но он не отражается в приводимых таблицах.

Для изучения вод можно отметить основное положение: число ионов компонентов или их групп увеличивается по мере уменьшения концентрации воды, и в то же время в водах уменьшается количество гидратных комплексов. Максимум такого состояния наблюдается для наиболее пресных вод. Обратное, ионизация в рассольных водах наименьшая, и в ней находятся, или, вернее, сказываются в изучаемых явлениях, преимуще-

ственно гидратные ассоциации. Вероятно в них имеют значение комплексы водяных молекул (молекул H_2O — § 181). Однако и для них в некоторых явлениях ионизация обращает на себя наше внимание; например, она сказывается в количестве ионов H^+ (§ 198).

Но все это касается только части атомов, сторонних химической молекуле воды, и не всегда эти атомы преобладают.

Точно разделять все разные комплексы атомов мы сейчас не можем, и в исчислении атомов они все соединены вместе.

Поэтому, отличая в таблицах, где возможно, ионы, гидраты, мицеллы, классификацию и выделение видов природных вод (минералов воды), я буду вести на основании валового химического элементарного анализа: по господствующим элементам.

557. Бросается в глаза среди этих элементов прежде всего антагонизм кальция и натрия. Ясный для биосферы, он повидимому идет и глубже.

Это связано повидимому с очень глубокими чертами механизма биосферы и, может быть, земной коры.

Ниже, во второй части книги — в истории отдельных химических элементов в природных водах — мне придется еще раз остановиться на относящихся сюда явлениях, здесь же необходимо его отметить.

Преобладание натрия (и хлора) в водах гидросферы и отход в них на второе место кальция (и карбонатного и сульфатного ионов) является характерной чертой, резко отделяющей морские воды от вод пресных и вод континентов вообще, взятых в их совокупности. Это — одно из проявлений основной диссимметрии нашей планеты.

Натровые воды характерны для гидросферы, кальциевые — для суши.

Относя дальнейший анализ этого явления в главу о геохимии, здесь необходимо подчеркнуть некоторые его черты, важные с точки зрения систематики природных вод.

Кальций — самый распространенный органогенный металл. Его главнейшие скопления в биосфере и в стратисфере (и отчасти из них происшедших участков метаморфической геосферы) — известняки, доломиты, гипсы — прямо органогенного или косвенно органогенного (гипсы) происхождения. Это верно для громадного большинства его скоплений. Эти породы — карбонаты и гипсы, — сравнительно легко выщелачиваемые водой и являющиеся в главной массе своей солями кальция — CaCO_3 и $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, — распространены очень широко в биосфере. Они легко дают богатые кальцием и бедные натрием воды как поверхностные, так и верховодки. Мы почти во всех отделах пресных и соленых вод можем проследить это преобладание кальциевых вод в определенных участках биосферы.

В пределах биосферы кальциевые воды тесно связаны с явлениями жизни. В первом приближении выявляется, что натриевые соединения выщелачиваются на суше, но сносятся реками в моря; кальциевые же задерживаются в теле организмов и в твердых биогенных продуктах.

Но явление антагонизма натрия и кальция — более глубокое, ибо оно идет далеко за пределы биосферы. Бросается в глаза, что самые глубокие скважины, богатые хлористыми телами, опять дают воды (соленые и рассолы), богатые кальцием и более бедные натрием (§ 927).

Способность кальциевых солей давать насыщенные растворы при малом количестве ионов кальция и очень большое количество натрия, которое необходимо для того, чтобы получились насыщенные растворы, вызывают в свою очередь обособление в природе кальциевых вод, поглощающих CO_2 , благодаря способности ионов кальция образовывать двууглекислые соли.

Отличие кальциевых вод ясно в классе пресных и очень резко проявляется в классе соленых вод. Оно исчезает в поверхностных рассолах, так как количество ионов кальция, могущих заключаться в воде, в присутствии в ней CO_2 и SO_4 , ограничено и не превосходит $10^{-10}\%$ твер-

дого остатка. Но оно вновь выявляется в глубоких пластовых водах, частью в связи с образованием двууглекислых солей (в слое земной коры с подземной атмосферой, богатой CO_2), а глубже — от неизвестной нам причины с появлением вод $\text{Cl}-\text{Ca}$.

558. Из других элементов той же 2-ой декады по распространенности в земной коре, алюминий, железо, калий и водород лишь редко являются характерными элементами и определяют виды водных растворов, подобно кальцию и натрию. О причинах этого явления я буду иметь случай говорить в главе о геохимии природных вод.

Но о магнезии необходимо сказать несколько слов сейчас же. Магний является для соленых и рассольных водных растворов очень характерным элементом, давая многочисленные виды — но почти исключительно в поверхностных водах. Он играет более второстепенную роль для вод: глубинных — пластовых — и для вод восходящих.

Получается впечатление об его концентрации в биосфере, поскольку вопрос идет о водных процессах. Его большое содержание в морской воде этому отвечает.

С другой стороны, бросается в глаза бедность магнезией группы пресных вод, т. е. редкость их нахождения в господствующей декаде компонентов.

Это связано с большим содержанием углекислоты (и с малой растворимостью MgCO_3) в пресных поверхностных водах и с уменьшением магнезии с глубиной, что сказывается в отходе магнезии на второе место в господствующих компонентах восходящих вод.

Ко всем этим проблемам я вернусь в главе о геохимии природных вод во второй части книги.

559. Необходимо еще сделать по отношению к приводимым числам следующие оговорки.

Пределы, которые в них указаны, несомненно подвержены еще дальнейшим исправлениям.

Деления на подклассы по газам могут быть сделаны сейчас во многих случаях условно за отсутствием анализов. Это числа предварительные.

Выделение в этих подклассах отдельных минералов — т. е. видов вод — не всегда может быть сделано с большой точностью, так как между ними есть переходы.

Это одинаково относится как к I классу, так и ко II-му (соленых вод) и к III-му классам (рассолов).

Нельзя забывать, что эта классификация, как всякая научная классификация, имеет главным образом прикладное методологическое значение: она позволяет удобно разбираться и охватывать сложное природное явление. Это ее основная задача.

Самоделью она являться не должна, и логически безукоризненное проведение какой бы то ни было классификации естественных тел или явлений приведет всегда к противоречиям и несообразностям.

Научная естественно-историческая классификация должна быть логически связана с научными эмпирическими обобщениями, а не с логически неопровержимыми абстрактными построениями.

Корни ее должны лежать в не охватываемой никогда до конца человеческой логикой природе.

Поэтому когда этого будет требовать основная цель — удобный для научной работы охват и диагноз природных вод, — я буду вносить необходимые для этого поправки и изменения, хотя бы строго логический анализ этого, казалось, не допускал.

Классификация есть эмпирическое обобщение, а не математическое или философское идеальное построение.

Этим путем — эмпирически — меняются и принципы классификации. В них вносятся поправки, нужные для удобства работы

Таких поправок будет вообще немного, и их будет все меньше с ходом исследования, если классификация правильно построена по отношению к основным эмпирическим обобщениям и предмету, ей подлежащие, научно точно, количественно установлены и описаны.

II. Класс пресных вод

„Многоводный Нил является для них всем: и рекой, и землей, и морем, и болотом, и бывает невиданное зрелище — там можно видеть вместе корабль и мотыгу, весла и соху, руль и серп, пристанище моряков и земледельцев, рыб и быков. По чему ты плыл, ты теперь засеваешь, а что засеваешь — это оказывается море возделываемое. Ведь это река разливается; египтяне сидят, ожидая разливов и считая дни. И Нил не обманывает: он поток, срок соблюдающий и воды отмеряющий, поток не желающий быть обвиненным в запаздывании. И видеть можно реки и земли соревнование: вода, чтобы превратить столь обширную землю, а земля, чтобы вместить столь великое пресное море... Когда же Нил наводнит всю страну, он из нее образует болото; болота же остаются даже после того, как Нил входит в берега, удерживая в себе воду. Все же необычные для суши места занимает ил... Если же вода совершенно спадет, пловцы несут лодку на спине, пока не дойдут до воды. В этих болотах очутились рассеянные островки. Одни из них были лишены построек и поросли папирусом. А густые ряды папирусов отстояли друг от друга на столько, что между ними может стать только один человек. Это расстояние защищают сверху листья папируса“...

Ахилл Татий, Левкиппа и Клитонфонт. XII.

Около 1600 лет назад.

560. Эта картина Нила, отвечающая первым векам нашего летоисчисления, рисует огромное воздействие человека на пресные воды суши и не только на воды поверхностные, но и на подземные — раньше древнее всего на верховодки и на почвенные воды, но тоже тысячелетия, хотя и не такие долгие, непрерывной работы человека захватили и изменили и воды пластовые, вплоть до верхней части стратисферы. Это мы должны всегда учитывать, и нигде явление человеческой работы не сказывается так ярко и глубоко как для царства вод пресных.

Для Нила мы и сейчас дадим ту же картину, которая описана 1600 лет назад; работа ее создания началась раньше появления первой династии фараонов, т. е. за многие столетия, может быть тысячелетия до 5000 лет от сегодняшнего дня. Еще глубже в древность идет ирригационная работа Месопотамии, сколько можно судить по современным историческим представлениям.

Уже тысячелетия охвачена этой работой более или менее интенсивно вся суша.

А с XX столетия неудержимо и глубоко, и со все более усиливающимся темпом, захватываются самые отдаленные уголки суши, где есть поверхностные воды.

561. Класс пресных вод охватывает чрезвычайно важные и распространенные воды суши и атмосферы — биосферы в целом, — но в то же время к нему принадлежит ряд вод горячих источников — термальных вод, так называемых акротерм, которые являются представителями восходящих фреатических или ювенильных вод — исходят из стратисферы и глубже. Проявлением аналогичных акротермам процессов являются и вулканические и гейзерные воды, создающиеся на земной поверхности.

Класс пресных вод, широко охватывая царство поверхностных вод, ярко выражен и для царства подземных вод. Едва ли в царстве глубинных вод мы встретим его представителей. Здесь возможно допустить только существование пресных водяных паров.

Сразу бросается в глаза резкая диссимметрия строения поверхности планеты. Соленая масса океанических вод характеризует гидросферу, пресные воды господствуют на суше, в коре выветривания. По мере углубления в стратисферу концентрация вод все увеличивается, и воды становятся солеными, т. е. процент их твердых компонентов превышает 0,1% по весу. Для подземных вод — в подцарстве вод пластовых — этот переход совершается где-то в пределах немногих сотен метров. К сожалению мы не можем об этом ясно судить за отсутствием данных.

Принимая во внимание своеобразную структуру подземных вод, в которой, в подцарстве вод пластовых, свойства капельножидких вод отвечают только части массы воды и явления частичных сил морфологически выражены чрезвычайно резко — необходимо отметить, что уже на небольшой глубине эти капельножидкие (гравитационные) составные части системы становятся солеными. Вероятно, плсочные части системы становятся таковыми еще раньше.

Гораздо глубже, может быть глубоко в пределы стратисферы, идут пресные представители подцарства восходящих вод. Некоторые из них, может быть, идут далеко вглубь за пределы двух-трех километров.

Это тесно связано с генезисом обоих подцарств. В то время как пластовые воды в подавляющей части имеют своим источником воду земной поверхности, восходящие воды идут снизу из метаморфической оболочки, может быть, из нижних областей стратисферы.

Наземные воды должны чрезвычайно резко (и закономерно) отражать географические пояса — не только в их общих чертах, но и в более углубленном подразделении. То явление, которое называется Л. С. Бергом „ландшафтной зоной“¹ и которое мне кажется лучше называть геохорой,² как это и он считает возможным (Л. С. Берг, правда в другом смысле), должно на каждом шагу сказываться в химии природных вод. Точно так же, как свои виды живых организмов, каждая геохора будет иметь свои виды природных вод или свои совокупности этих видов. Сейчас выявить это в анализах невозможно.

Это задача будущего, надеюсь, недалекого. Я вернусь к этому явлению во второй части книги.

562. Пресные воды могут образовываться в земной коре двумя путями: во-первых, сгущением водяных паров, быть продуктами перегонки и испарения, и во-вторых — вырабатываться из пресных же вод или соленых, теряя растворенные компоненты под влиянием проявления частичных сил — явлениями катафореза, замораживания или им аналогичными.

Первый пугь их образования является господствующим, играет во всех наших концепциях исключительную роль и не вызывает сомнений. Второй, повидимому, приводит к немногим частным явлениям и включает в себе элемент гипотезы. Его мы прилагаем к объяснению происхождения таких пресных вод, которых существование непонятно с точки зрения их генезиса сгущением водяных паров.

Очень возможно, что значение явлений катафореза и аналогичных гораздо более выражено в природе, чем мы это сейчас предполагаем.

563. Сгущение водяных паров идет в земной коре в разных формах, среди которых можно выделить два типа явлений, явно между собою различных. В биосфере это сгущение идет измедленно испаряющейся —

¹ Недопустимый, мне кажется, германизм „ландшафтная зона“ не должен вводиться в русский научный язык. Его не примут ни французы, ни англичане. Это чувствовал и Пенк, вводя название „хора“ вместо ландшафта. Л. С. Берг, правильно создавая новое понятие, которое я горячо приветствую, неправильно его называет. Вместо „пояс хор“ лучше взять „геохору“ — „ландшафтная зона“ или „ландшафтный пояс“. По аналогии с геосферами. Мне кажется, что идеи А. Ф. Гумбольдта были очень близки к важным и интересным идеям Л. С. Берга.

² Л. С. Берг хотел заменить хору геохорой. Не лучше ли сохранить хору и называть геохорой „ландшафтную зону“?

перегоняющейся — воды при температурах на многие десятки градусов ниже температуры кипения воды, в гейзерных водах (§ 732) оно идет из перегретого до 140° и больше водяного пара — в акротермах сгущение происходит, повидимому, из еще более горячего водяного пара. В тех водах, которые доходят до нас, мы нечасто имеем указания на очень горячие воды — может быть вследствие того, что это воды неизбежно смешивающиеся с более холодной водой, когда они приближаются к выходу на поверхность. На глубинах, близких к 13-15 километрам, температура достигает критической точки для водных растворов.

Нельзя думать, чтобы горячие источники несли воду только атмосферного происхождения. Ниже я вернусь к этому явлению, здесь же отмечу только одну характерную черту. Воды стратисферы, ее более нагретых нижних слоев, являются уже солеными. Для того чтобы пресные воды сохранили свою концентрацию, необходимо, чтобы они быстро дошли до горячих слоев земной коры — до метаморфической области — и чтобы они недолго там оставались. Это два условия, довольно мало вероятные, судя по тому, что мы знаем о механизме земной коры.

Приходится допустить существование горячих паров воды, поднимающихся снизу и сгущающихся в жидкие массы, немедленно превращаясь в растворы, в более близких к земной поверхности участках планеты. Существование таких паров наблюдается в разных местах в виде гейзерных перегретых паров (§ 533) и образовавшихся из них гейзерных вод. Акротермы являются проявлением глубинных форм, аналогичных гейзерным скоплениям водяных паров (это не аналоги фумаролл, как часто думают). Я вернусь к этому во второй части книги.

564. Несколько слов надо сказать о втором типе генезиса пресных вод — об образовании их частичными силами. Обычно существование этих явлений совершенно упускается и оставляется без рассмотрения.

Однако мы имеем точные наблюдения, которые, мне кажется, не могут быть объяснены сгущением паров в природных условиях или указывают на особого типа сгущения, не принимаемые во внимание и трудно сейчас для нас представляемые.

Сюда относятся прежде всего некоторые вадозные воды исключительной чистоты, совершенно не дающие при испарении осадка и вполне отвечающие обычной дистиллированной воде лабораторий. Не только практически, но и химически они должны быть рассматриваемы, как химически чистая вода.

Такие воды констатированы точными наблюдениями, и, мне кажется, факт их существования не может быть оспариваем (ср. § 209—210). К. Бишоф указывает источник, выходящий ниже Гейдельберга из красных песчаников, вода которого не давала никакого осадка ни от одной реакции (и с AgNO_3 в том числе) и никакого осадка при испарении. В лаборатории нельзя было приготовить более чистой воды. На такую же воду указывает И. Н. Фукс в нескольких местах из Тюрингенского леса (холодная вода из кристаллических пород). Такие же источники указаны в С. Америке. Такие воды уже знал А. Лавуазье.¹ Он указывал их нахождение среди высокогорных вод в областях силикатовых пород (состоящих из „*matières refractaires et vitrifiables*“). Такие воды в Богезах не содержат Na и SO_4 , абсолютно чисты и не отличимы от дистиллированной воды.

Повидимому этого типа воды не редки, но на них не обращали внимания новые исследователи, они просто о них умалчивают.

Эти воды — вероятно разного происхождения — занимают определенные области в биосфере.

¹ Его указания напечатаны впервые в 1865 году.

Частью это воды среди кристаллических пород, в горах, как это уже заметил Лавуазье. Таковы, например, воды Тюрингенского Леса. Здесь указываются воды, которые дают следы хлора и органических веществ только при выпаривании нескольких килограммов воды (9 кг для Эльсбурга по Шмидту, 1855, т. е. твердый осадок порядка $10^{-6}\%$ весом).

Другой областью таких химически почти чистых вод должны быть дождевые воды высоких гор, выше снежной линии. Здесь должна исчезать пылевая атмосфера земли, и только ветры могут в ослабленной степени приносить снизу растворимую пыль (NaCl , Na_2SO_4 и т. п.). Анализы этих дождей и снегов мне неизвестны. Вероятно и они дадут солевой остаток порядка $10^{-6}\%$.¹

565. Причины образования этих вод повидимому довольно сложные. Они, с одной стороны, связаны, как мы видим, с физико-географическими условиями, но с другой — как с проявлением частичных сил воды, вызывающих удаление из нее растворенных твердых компонентов, так, повидимому, и с аналогичным действием жизни (§ 658).

Прямым испарением в условиях земной коры получить чистую химически воду нельзя, так как есть такие вещества, которые летят и испаряются, переходят в пар вместе с молекулами воды. Затем в атмосфере они при сгущении в тучи и туманы неизбежно захватываются (растворяют) там находящиеся газообразные или пылевые вещества.

Этим путем не получают воды с меньшим остатком, чем $10^{-4}\%$ по весу.

Многократное испарение мало изменит дело. Такие случаи наблюдаются в биосфере, например, в явлениях так называемой „внутренней росы“; ее полные анализы неизвестны, но имеющиеся пробы не дают отличия от обычных пресных вод. Явление впрочем требует проверки.

Едва ли можно ждать очищения пресных фреатических и вулканических вод многократным испарением, ибо при высокой температуре, им свойственной, и сложности химической среды, где они выделяются, надо ждать увеличения количества разнообразных компонентов, дистиллирующих вместе с парами воды.

Оставляя область этих вод, нам менее известных, „химически чистые“ воды биосферы, нам известные, могут образоваться, насколько можно судить, гл. обр. двумя путями: 1) вымораживанием и 2) коллоидальным катафорезом.

При повторном, многократном вымораживании бедных компонентами пресных вод должны получаться как раз воды такого порядка, $10^{-6}\%$ остатка и ниже.

На высоких горах, далеко от океана (отсутствие хлора в воздухе), среди снежных областей надо ждать их существования.

Другой причиной должно быть выпадение ионов воды при выделении гелей — кремневой кислоты в первую голову, — связанном с явлениями катафореза. Эти процессы сейчас начинают употребляться для получения в наших лабораториях воды, более чистой, чем дистиллированная. Вероятно, этим вызвано в значительной мере (может быть совместно с вымораживанием) появление вод, указанных в § 564.

Явление химически чистых родниковых вод заслуживает серьезного исследования, и это объяснение, которое здесь приводится, требует еще уточнения и проверки.²

¹ Как далеко идет вверх NaCl ? Пылевая атмосфера, к которой он принадлежит, кончается между 2—5 км от земной поверхности. Как заметил Тингри (1808), воды ручьев от таяния ледников исключительны по чистоте.

² Эти явления должны иметь место в области наземных коллоидальных вод, связанных с явлениями поверхностного выствлривания. Вся эта область явлений недостаточно изучена. Эти воды могут быть вредны для жизни.

566. Сгущение водяных паров, какого бы то ни было происхождения, резко отражается на той газовой среде, в которой оно происходит, так как газы различно растворяются в водах. Поэтому газовая среда меняется в своем составе при образовании в ней жидкой воды — при превращении водяных паров в жидкость, при их сгущении.

Но не только тропосфера и подземные атмосферы, находящиеся в динамическом равновесии с водами, являются источниками их газов, разных для разных вод.

Яркое отражение в газовом составе воды подземных атмосфер еще недостаточно учтено научной мыслью; с ним мы имеем дело на каждом шагу при изучении природных вод. Но помимо этого есть и другой источник находящихся в водах газов — это движения газовых масс — будут ли то струи, испарения в атмосферу или газы, создаваемые химическими реакциями в воде. Это явление очень резко сказывается в свободно выделяющихся газах (§ 224), в истории радиоактивных газов (эманациях).

Для пресных поверхностных вод биосферы характерно большее растворение в них кислорода по сравнению с азотом. Отношение N/O в воздухе по весу равно при 0°C — 3,25, а в пресной воде — 1,90. Таким образом, всякое сгущение паров воды резко отражается на составе воздуха. Обратный процесс наблюдается при переходе пресных вод в снег: выделенные газы богаче кислородом, чем окружающий воздух.

Пресные водяные пары при сгущении в биосфере дают азотно-кислородные воды.

Воды такого рода получаются и из восходящих пресных подземных вод, до выхода в биосферу не заключающих кислорода, — подкласса азотных вод. Все такие акротермы, сопочные, вулканические и гейзерные воды, входя в биосферу и соприкасаясь с атмосферой (тропосферой), жадно поглощают кислород из воздуха, часто не трогая его азота. Значение этого процесса нами не учтено, но, очевидно, не может быть оставлено без внимания в геохимии планеты.

В обоих случаях получают азотно-кислородные подклассы, при чем для акротерм и гейзеро-вулканических вод могут образовываться виды природных вод, неустойчивые в биосфере и только временно в ней существующие.

567. В связи с этим удобно разделить класс пресных вод — как и все остальные классы — на два ряда: 1) воды, содержащие кислород, — кислородный ряд и 2) воды, его не содержащие, — азотный (и может быть углекислый) ряд.

Само собой ясно, что первый ряд характеризует поверхностные воды и сходит на нет более или менее быстро для подземных вод. В глубинных водах и в огромном большинстве вод подземных он совершенно отсутствует.

Всякая подземная вода, входя в тропосферу, дает — устойчивую или неустойчивую — воду первого ряда.

Производя бурение и выводя на земную поверхность воды, никогда на ней не бывшие, — человек создает неизбежно новый ряд вод, до него не существовавших, и создает новый процесс, до него не бывший, — поглощение свободного кислорода, ухода его из тропосферы.

568. Дальше вглубь наши сведения о газовой среде, проникающей природные воды, становятся менее точными. И вместе с тем мы подходим здесь к вопросам огромного значения с общей геологической точки зрения.

Проникают ли газы все вещество нашей планеты или же они являются принадлежностью исключительно поверхностной ее части — земной коры?

Дальше нее мы находимся уже совсем в области неизвестного. Сейчас правильнее будет при современном состоянии знаний признать, что наши

понятия о физическом состоянии вещества останавливаются на границе этой коры, ибо на глубине около 60 километров давление становится таким, что физические свойства вещества разных фаз неразличимы, грани между ними исчезают и в то же время некоторые (механические) свойства этих глубин скорее схожи со свойствами твердого, чем газообразного тела.

Для природных пресных вод нам не приходится иметь дело с такими глубинами. Предел существования жидкой воды гораздо более близок к поверхности (§ 551).

Но в виду часто высказываемого представления о притоке „ювенильных“ газов из-за пределов земной коры важно это не забывать.

Сейчас вопрос идет о газовой атмосфере ближайших к биосфере 6—10 километров, самое большее.

569. После исчезновения кислорода два газа выступают в подземных атмосферах на первое место — углекислота и азот. Мы сразу — из-за недостатка точных данных — здесь останавливаемся. Образуются ли углекислоазотные, углекислые или же азотные воды? И как изменяется это соотношение с глубиной?

Можно только — с большими оговорками — оттенить некоторые, как будто выясняющиеся правильности.

Как будто для более глубоких пластовых вод, т. е. для вод стратисферы мы имеем воды углекислые и углекисло-азотные (азотные менее точно установлены?). Азотные воды, выходящие в биосферу, приходят в нее в форме минеральных жил. Как будто азот в значительной части или идет из более глубоких частей земной коры или же проникает из атмосферы (тропосферы) в более глубокие атмосферы, чем углекислота.

Углекислота является в пластовых водах в подавляющей, по массе своей, части продуктом жизни. Как будто есть непрерывный переход:

углекислота почвенных вод → углекислота вод стратисферы.

Можно думать, что та почвенная и подпочвенная атмосфера, которая богата углекислотой и иногда (всегда?) может быть названа углекислой (больше 80—90% CO_2), продолжает ется на некоторую глубину.

Несомненно есть другой ее — непрерывный — источник в метаморфических областях, благодаря разложению карбонатов (почти всегда биогенные продукты) и переходу их в силикаты и алюмосиликаты. Это видно из выделения вулканической углекислоты и из существования термальных углекислых источников.

В углекислых водах стратисферы уменьшение азота, проникающего из тропосферы, может являться следствием интенсивного биогенного создания углекислоты в биосфере. Парциальное давление азота будет уменьшаться вследствие того, что вместо газовой среды $\text{CO}_2\text{—N}_2\text{—O}_2$ поверхностных вод биосферы образуется газовая среда:

CO_2	—	N_2
быстро растущая по массе		ограниченный по массе,

переходящая неизбежно в среду CO_2 , с примесью азота.

570. Но азот попадает в стратисферу сверху и другим путем, помимо водных растворов, спускающихся в нее из биосферы.

Существует совершенно неизученная воздушная циркуляция газов тропосферы, повидимому глубоко проникающая в стратисферу. Этим объясняется существование особых вод углекисло-азотных, повидимому всегда содержащих свободный кислород и попадающих в стратисферу, минуя подземные почвенные и грунтовые воды, биогенно его захватывающие.

Возможно поэтому, что азот глубоких вод является азотом такого вадозного происхождения, увеличивающимся в своем содержании вслед

ствие уменьшения темпа процессов синтеза углекислоты, связанного с аэробной и анаэробной жизнью биосферы.

Однако возможен и азот, идущий из земных глубин.

Может быть на это указывают колебания отношения азот: благородные газы, устанавливаемые В. Г. Хлопциным (1930) для газовых выделений минеральных источников с разным количеством благородных газов в газовых струях.

Азот глубинный будет беден этими газами или их совсем содержать не будет.

Это выяснят исследования в ближайшие годы.

571. Количество подклассов, основанное на газовых компонентах — может быть пока представлено неполно из-за недостатка анализов.

Для первого ряда несомненно существуют следующие:

- I. $N_2 - O_2$
- II. $N_2 - O_2 - CO_2$
- III. $N_2 - CO_2 - O_2$
- IV. $N_2 - CO_2 - O_2 - H_2S$
- V. $N_2 - O_2 - CO_2 - H_2S$
- VI. $CO_2 - N_2 - O_2 - H_2S$
- VII. $N_2 - O_2 - CO_2 - CH_4$
- VIII. $N_2 - CO_2 - O_2 - CH_4$

Для второго ряда:

- IX. N_2
- X. CO_2
- XI. $N_2 - CO_2$
- XII. $CO_2 - N_2$
- XIII. $N_2 - CO_2 - H_2S$
- XIV. $N_2 - H_2S$
- XV. $N_2 - CO_2$ — углеводороды.¹

Для поверхностных вод преобладает первый ряд, для подземных вод второй ряд, при чем для подцарства восходящих вод — исключительно. Он же только существует и для глубинных вод.

Для подцарства волосных вод, проникающих минералы и горные породы, существуют — в биосфере и в верхней стратисфере? — пресные воды первого ряда, но вся область нахождения газов и вод в тех случаях, где этого можно ждать — в осадочных и в обломочных породах — так мало изучена, что утверждать этого мы не можем.

Совершенно ясно, что наши современные представления о подклассах вод претерпят серьезные и значительные изменения, как только химический анализ растворенных газов получит широкое применение. Многое изменится еще и потому, что среди растворенных газов найдутся вероятно газы, совсем не учитываемые, как тиоуглекислота, этан, бутан, пропан. Роль и значение углеводородов вообще вероятно окажется гораздо значительнее, чем мы это сейчас думаем. Возможно, они идут в водах глубже других газов.

Я вернусь к этому в главе о геохимии природных вод.

572. Подклассы класса пресных вод группируются в царства и подцарства на основании геологического признака — положения вод в разрезе планеты (ср. § 343). Для пресных вод можно выделить семь подцарств, при чем их подразделением будут семейства и виды; число видов достигает больше 150 — число явно временное. В действительности их гораздо больше. При дальнейшем углублении в историю природных вод будут выделены многочисленные новые члены.

Как уже указано, можно различить для пресных вод два царства: поверхностные и подземные воды. Для царства поверхностных вод можно различать два подцарства: воды тропосферы и воды наземные (ср. § 366). Для царства подземных вод можно отличить пять подцарств: вод верхних земных покровов, пластовых вод, вод подземных водовместилищ, восходящих вод, волосных вод горных пород.

573. Для каждого подцарства можно выделить семейства. Надо помнить, что сейчас такое выделение может иметь значение лишь предварительного списка.

¹ Вероятно есть $N_2 - CO_2 - CH_4$ и $N_2 - CO_2$ — тяжелые углеводороды.

Сейчас, как видно из списка (§ 366), можно выделить около 25—30 семейств, но совершенно ясно, что это число не отвечает действительности, так как для подземных вод и для волосных вод горных пород семейства сейчас не могут быть установлены в достаточной степени полно.

574. В пределах семейств выделяются виды и подвиды на основании господствующих по весу компонентов, главным образом растворенных твердых тел — для пресных вод на основании преобладающих ионов (и может быть рассеянных атомов).

Для пресных вод по весу для отдельных компонентов это всегда очень небольшие части — от 10^{-18} до $10^{-2}\%$.

Эти небольшие на первый взгляд числа имеют огромное значение. Хотя количество ни одного элемента не может превысить сотые доли процента по весу (порядок $10^{-2}\%$) пресной воды — мы не должны забывать, что эти ничтожные доли сторонних элементов поддерживают всю жизнь суши — значительную долю жизни наземных организмов и всех организмов пресноводных бассейнов. В каждую данную минуту в биосфере находятся в таком состоянии количества вещества, равные по весу порядку 10^{19} граммов, т. е. десяткам квинтильонов граммов (десяткам триллионов тонн), по крайней мере.

Среди этих элементов преобладают газы: $^1 \text{O}_2, \text{N}_2, \text{CO}_2, \text{CH}_4, \text{H}_2\text{S}$ и ионы $\text{Cl}^-, \text{Na}^+, \text{Ca}^{++}, \text{SO}_4^{--}, \text{CO}_3^{--}$ — реже мицеллы SiO_2 , органические вещества (богатые $\text{C}—\text{O}—\text{N}$) и иногда мути, напр., коллоидальная сера.

Наибольшее значение в конце концов имеют газы, определяющие нижнюю границу стороннего вещества: их количество никогда не спускается ниже $10^{-2}\%$ по весу, тогда как количество элементов (и ионов) спускается до $p \times 10^{-18}\%$. Ясно видно, что это последнее число выражает только состояние нашей количественной методики работы и в действительности есть меньшие массы водных компонентов, закономерно меняющие свойства воды, но нами пока не улавливаемые.

История каждого компонента — каков бы он ни был количественно и качественно — не случайна и должна быть при изучении вод установлена. Только при этом могут быть выведены столь необходимые сейчас геохимические законности. Надо отметить, что среди пресных вод могут быть неустойчивые равновесия, когда количество газов достигает порядка $p \times 10^{-20}\%$. К сожалению эти случаи плохо изучены и требуют подтверждения: это наблюдается для биогенного кислорода (§ 220), для углекислоты дождей и туманов (§ 584). Вероятно мы имеем здесь дело с газовым раствором и тончайшей эмульсией того же газа. Необходимы исследования.

575. Среди всех этих компонентов наибольшее значение имеют, как мы видели, газы, на основании нахождения которых строятся подклассы — крупные черты классификации.

Газы попадают в верхние кислородные воды тремя путями: захватываются водами из тропосферы, или идут из глубин земной коры, или же создаются в пресных водах.

На этом последнем процессе необходимо остановиться, так как он очевидно является характерным показателем химии пресных вод — их истории.

Газы создаются в пресных водах в подавляющей, если не в исключительной мере биогенным путем, являются проявлением жизни вод. Они могут быть чисто биохимическими продуктами жизненного процесса и продуктами отброса жизненных продуктов, при чем и в этом случае грибная и бактериальная микрофлора является источником создания газов.

¹ Количество их для акротерм доходит до $p \times 10^{-1}\%$ (§ 188).

В пределах природных пресных вод, мне кажется, нет реакций, где бы создание в них газов было бы независимо от явлений жизни, кроме процессов замерзания и таяния воды, меняющих отношение пресных вод к газам тропосферы. Но, очевидно, это процессы не химического порядка.

Биогенно могут создаваться в природной воде все газы пресных вод, биогенно они могут в ней и потребляться — O_2 , N_2 , CH_4 , H_2S , CO_2 . Особенное значение приобретают процессы, связанные с углекислотой.

Метан и сероводород свойственны, по крайней мере характерны, для немногих вод; азот, углекислота и кислород чрезвычайно распространены; азот даже находится всегда.

Но среди всех них по глубокому влиянию на структуру пресных природных вод на их химию выявляется углекислый газ. По количеству углекислоты удобно выделить два подряда пресных кислородных вод — бедный и богатый углекислотой.

Между ними есть переходы. Как только в пресных водах расцветает жизнь и увеличивается их концентрация, значение углекислоты увеличивается. Первый ее источник — тропосфера: здесь ее количество равно $3-7 \times 10^{-2} \%$.¹ В дождевой воде это количество по отношению к растворенному воздуху уже равняется $2,1-2,9\%$, а выраженное в процентах веса воды исчисляется числами до $2,5 \times 10^{-4} \%$.

Эти числа быстро увеличиваются в такого рода нахождении воды, в которых увеличивается или концентрация солей воды или концентрация в них жизни. Концентрация солей для пресных вод в указанных ниже пределах мало сказывается на режиме CO_2 . Для пресной воды накопление углекислоты создается жизнью, и живые организмы берут ее первым делом из тропосферы, в значительной части из самих пресных вод.

576. Характер изменения газового состава воды разного происхождения и влияния на него жизни виден из следующих средних чисел, приводимых Торпом на основании точных химических анализов (I—V) и чисел для океана (VI). Анализы выражены мною в весовых процентах воды:

	N_2	O_2	CO_2
I. Дождевая вода	$1,6 \times 10^{-3} \%$	$9,2 \times 10^{-4} \%$	$2,6 \times 10^{-4} \%$
II. Горные источники	$1,8 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$5,5 \times 10^{-4}$
III. Горное озеро (Loch Katrine)	$2,1 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$2,2 \times 10^{-4}$
IV. Темза ²	$1,6 \times 10^{-3}$	$8,4 \times 10^{-4}$	$7,8 \times 10^{-3}$
V. Артезианская вода из известковых пластов	$2,4 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-5}$	$1,1 \times 10^{-2}$
VI. Гидросфера	$2,3 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-3}$	$3,6-5,3 \times 10^{-3}$

Числа углекислоты для океана, несомненно, значительно больше и может быть в среднем окажутся близкими к порядку $10^{-2} \%$, если учесть и углекислоту полусвязанную. Углекислый подкласс этой воды таким образом выступает еще более резко.

Числа для Темзы дают излишек углекислоты. Обычно принимают (например, Д. И. Менделеев), что в литре речной воды заключается 50 см^3 газов, из них $20 \text{ см}^3 N_2$ и CO_2 , а $10 \text{ см}^3 O_2$. Это дает числа:

CO_2	$3,9 \times 10^{-3}$
N_2	$2,5 \times 10^{-3}$
O_2	$1,4 \times 10^{-3}$

¹ Надо принимать во внимание максимальные числа, ибо разные слои воздуха различно богаты углекислотой. Воды, находящиеся среди лесных массивов, поемных лугов, лужи и т. п., получают из воздуха гораздо больше углекислоты, чем озера снежных полей или горных вершин.

² Среднее для рек: N_2 $2,7 \times 10^{-3} \%$ (по весу)
(примерно) O_2 $1,4 \times 10^{-3}$
 CO_2 $4,4 \times 10^{-3}$

Можно ясно видеть, что в биосфере CO_2 быстро становится на первое место и определяет характер природных вод. Однако она столь же быстро при этом теряет свойства кислого газового раствора и дает ионы CO_3'' и HCO_3' (щелочной раствор), образующие сложные равновесия (§ 241).

Может быть выгодно по углекислоте для пресных вод выделить не два, а три подряда кислородно-азотных вод — бедных, богатых и промежуточных по углекислоте. Свойства и история этих вод очень различны, и переходы между ними далеко не так часты, как логически казалось бы на первый взгляд должно было это случаться.

577. Переходя к обзору наших сведений о химическом составе природных пресных вод, необходимо считаться с чрезвычайной их недостаточностью.

Особенно сильно отражается на нашем знании недостаточность сведений о газовом составе вод. Эта недостаточность сведений делает деление на подклассы в известной мере условным. Мы не можем, например, обычно отличить подкласс N_2 от подкласса $\text{N}_2\text{—CO}_2$. Для целого ряда проблем большого теоретического и практического значения это знание является очень важным, и я должен здесь еще раз подчеркнуть чрезвычайное значение новых точных, широко поставленных анализов растворенных газов в природных водах.

Поэтому в основу рассмотрения химического состава природных вод я положу не подклассы, а царства и уже в пределах царств выделю ряды и подряды по O_2 и по CO_2 .

Фрагментарность наших знаний чрезвычайно сказывается и в недостаточности и неполноте количественных химических анализов. Я буду поэтому останавливаться только на тех водах, указанных в списке (§ 354 сл.), для которых имеются сколько-нибудь точные химические данные.

Как указано в предисловии, в приводимых таблицах не отмечено число анализов, принятых во внимание. К сожалению, я не мог исправить сделанную в начале работы ошибку. Тем не менее реальное значение таблицы, мне кажется, сохранили; некоторое представление о логическом „весе“ анализов, числе принятых во внимание данных — я, где можно, даю.

578. Начну рассмотрение с царства поверхностных вод.

Ничто не указывает, чтобы тот механизм, который здесь перед нами вскрывается, не существовал всегда в геологическое время на нашей планете. При осторожном учете (принимая непрерывность океанических бассейнов и континентов с кембрия — § 109 сл.) он существует уже около миллиарда лет, вероятно больше — все время с создания биосферы — с архейской эры, т. е. все геологическое время.

Но в этом механизме в разные геологические эпохи могли быть изменения. Так, в современную эпоху на одном из континентов — Антарктике и на прилегающих к нему островах местами нет пресной жидкой фазы вод — ни текучих, ни луж, ни метеорных. Лужи почти всегда соленые.

Для первого подцарства, с которого я начну обзор вод — для вод тропосферы — мы, очевидно, имеем непрерывное динамическое равновесие того же вида, какой наблюдается для паров; это их осадки — тучи и т. п.

Вода почти несомненно находится за пределами тропосферы — в стратосфере и, очень возможно, идет и дальше вверх — в область ионосферы. Так называемые серебристые облака, на высотах более 80 километров (§ 366), являются возможно водными скоплениями, может быть даже жидкой водой.

Реально известны лишь воды тропосферы.

Преобладает здесь вода подкласса $\text{N}_2\text{—O}_2$, богатая кислородом, бедная углекислотой, не вносимая мною в подкласс $\text{N}_2\text{—O}_2\text{—CO}_2$. Это представление, опирающееся на химическое проявление этих вод, не может считаться бесспорным.

Существует подкласс этих вод, несомненно кислородно-азотно-углекислый, богатый углекислотой. Таковы росяные воды и воды некоторых туманов.

Причина этой концентрации углекислоты при сжижении водяных паров точно не выяснена. Можно строить лишь гипотезы; вопрос требует исследования.

Характерным и неизменным для всех атмосферных вод тропосферы является присутствие кислорода.

Можно выделить несколько семейств, сюда относящихся, таковы: 1) дождевые воды, 2) воды облаков (туч), 3) воды туманов, 4) воды от таяния снега, 5) воды росяные, 6) воды углекислые.

Возможно, что жидкая вода, независимая от тропосферы, вновь появляется и образует облака в верхней — тепловой псевдосфере — части стратосферы. Может быть, в ней не только углекислота, но и кислород отходит на второй план (перламутровые и серебристые облака?).

579. Химически наиболее изучены воды дождевые. Они почти, а может быть и вполне, идентичны с водой туч и облаков, из которых они образуются. Однако было бы неправильным соединять их в один вид, ибо и морфологически и физико-географически они совсем различны и положение их в химической среде биосферы совсем иное.

Тучи обычно состоят из капель размеров в $1,6 \times 10^{-2}$ см до $3,0 \times 10^{-4}$ см (по Келеру); едва ли есть капли порядка меньше 10^{-4} см. Капли уже не являются водой химически чистой. Капли сгущаются не только вокруг пыли, но и вокруг гигроскопических веществ, каковыми могут являться хлористые соединения кальция и магния. Неясно, как эти мельчайшие капельки захватывают газы. Насколько я знаю, соответствующие опыты отсутствуют, а между тем свойства этих тел резко меняются в зависимости от размеров. Так частицы меньше $3,0 \times 10^{-3}$ см диаметром не замерзают в условиях тропосферы.

Капли дождя значительно больше — в пределах 5×10^{-2} см — 5×10^{-1} см; их вес не больше $1,4 \times 10^{-1}$ г; обычный дождь наших широт $6,5 \times 10^{-2}$ г (данные Гана и Зюринга, 1926).

Здесь уже идет и обычный химический процесс растворения газов и пыли.

580. В общем все же дождевая вода отличается значительной чистотой по сравнению с обычной вадозной пресной водой. Это отличие тесно связано, как мы теперь видим, с тем, что в дождевой воде отсутствует жизнь, меняющая химический характер пресной воды суши.

Относительная чистота дождевой воды, особенно когда она была перехвачена до ее соприкосновения с поверхностью суши (т. е. чистота воды туч), была установлена и подчеркнута в конце XVIII столетия А. Лавуазье.

С тех пор состав дождевой воды культурных стран изменился. Здесь сказывается чрезвычайное влияние культуры — главным образом каменно-угольного и бурогоугольного отопления и химической промышленности. Так, значительная часть серы в виде SO_2 и SO_4 связана с горением угля; медь и цинк наблюдаются в растворе в дождевых водах, достигая местами очень больших величин, например, по Фрейтагу, около цинковой фабрики Borbeck у Эссена в дожде (1868 г.) находилось до $1,49 \times 10^{-2} \%$ ZnSO_4 . С ходом цивилизации меняется состав дождевых вод, меняются основы главного — Галлеевского — равновесия (§ 409) природной воды. Вероятно, через немного поколений влияние этого изменения скажется в природных процессах. В таблицу § 354 сл. эти культурные изменения по возможности не приняты во внимание, в тех случаях, когда ясно, что они представляют местное явление.

Известен состав воды только той, которая проходит через пылевую атмосферу; пыль проникает с поверхности планеты. Верхняя

ее граница лежит ниже высоких гор, не превышает 3—5 километров от земной поверхности. Едва ли пыль подымается над величайшими горами — и дождевая вода, падающая на больших горных вершинах, должна иметь иной состав, если только тучи не поднялись снизу. Анализы таких вод мне неизвестны.

Состав дождевой воды определяется: 1) растворимой частью пыли, частью подымаемой испарением и ветром, частью выделяемой в атмосферу вулканическими, сопочными, фумарольными процессами, 2) газообразными продуктами того же происхождения или создаваемыми во время процессов в атмосфере (напр. SO_3 из H_2S или окислы азота), 3) твердыми продуктами, создаваемыми в атмосфере (например аммиачные соли), 4) радиоактивным распадом (в дождях и снегах заключаются гл. обр. не эманации — радон, торон и актинон, а продукты их распада).

В общем состав дождевой воды в среднем колеблется около некоторого равновесия; однако отдельные крупные события, в роде больших вулканических извержений, могут вызывать его изменение, непрерывно уравнивающееся. Состав в конце концов возвращается к исходному.

Повидимому, этот состав не менялся в течение геологического времени (до психозойной эры — § 69, 133).

581. Характерна роль азотных соединений в тесной связи с тем, что атмосфера является областью, где элементарный азот непрерывно входит в соединения, давая кислородные и аммиачные соединения. К этому явлению я возвращусь в главе о геохимии воды.

Возможно, что часть элементарного состава метеорных вод космического происхождения — в связи с падением метеоритов, космической пыли и падающих звезд. Эти тончайшие пришельцы в нашу атмосферу медленно попадают в область туч и туманов. Через них идут в биосферу.

582. Количество газов в дождевой воде колеблется в связи с состоянием окружающей атмосферы и не вполне совпадает с вычисленными на основании ее температурой и давлением. В литре дождевой воды наблюдается от 6,28 до 10,87 см^3 кислорода.

Несомненно уже в самой атмосфере идут изменения газового состава воды; так по опытам Жирардена (1872—1875), количество кислорода уменьшается в дождевой воде, выпавшей внизу из той же самой тучи, по сравнению с его содержанием в ее дожде, выпавшем на высотах. Он объяснял это тем, что часть кислорода пошла на окисление органических веществ, находящихся в нижних слоях тропосферы.

583. Мы имеем значительное количество химических анализов дождевых вод из разных мест земного шара, но анализов неполных, так что только для немногих компонентов возможно дать более или менее ясную картину их количественного состава.

Одной из очередных задач геохимии, требующей международного соглашения, является организация систематических количественных анализов метеорных вод. Состав метеорной воды — такая же основная константа геохимии, как и состав океанической воды.

Колебания состава дождевых вод, т. е. состава сторонних в них элементов по сравнению с химически чистой водой H_2O , видны из следующей таблицы: ¹

¹ Химический состав здесь и дальше выражен так, что состав воды не принят во внимание. Больше 99,995 % дождевой воды отвечает формуле H_2O .

Остаток химических элементов, отличающий дождевые воды от химически чистой воды

(в весовых процентах)

Твердый остаток¹ $4,8 \cdot 10^{-2} - 8,0 \cdot 10^{-5}$

Среднее² $3,4 \cdot 10^{-3} \%$

Элементы³

Cl⁴ $2,2 \cdot 10^{-2} - 2,1 \cdot 10^{-6} \%$

Na⁵ $1,6 \cdot 10^{-2} - 7,9 \cdot 10^{-7} \%$

O⁶ $1,0 \cdot 10^{-2} - 2,0 \cdot 10^{-3} \%$

N⁷ $9,0 \cdot 10^{-3} - 1,4 \cdot 10^{-3}$

Ca⁸ $5,4 \cdot 10^{-3} - 6,0 \cdot 10^{-5}$

S⁹ $2,9 \cdot 10^{-3} - 5,4 \cdot 10^{-7}$

C¹⁰ $5,0 \cdot 10^{-4} - 1,0 \cdot 10^{-5}$

H¹¹ $2,0 \cdot 10^{-4} - 4,0 \cdot 10^{-6}$

Mg $1,3 \cdot 10^{-4} - 1,3 \cdot 10^{-6}$

Ar¹² $4,0 \cdot 10^{-5} - 7,5 \cdot 10^{-5}$

P $3,9 \cdot 10^{-5} - 3,9 \cdot 10^{-6}$ и меньше?

Fe $1,8 \cdot 10^{-5} - 2,1 \cdot 10^{-7}$ и меньше?

J¹³ $7,9 \cdot 10^{-6} - 9,1 \cdot 10^{-9}$

As $2,0 \cdot 10^{-6} - 0?$

¹ Твердый остаток не отвечает сумме всех элементов дождя, так как в него не входят газовые компоненты воды, которые включены в состав дождевой воды. Важно определять его систематически для отдельных дождей. Минимум наверно меньше этого числа — месячного, данного Брандесом (1825).

² Это не есть точное среднее и оно относится лишь к водам Западной Европы и С. Америки. Я привожу здесь число, принятое Меллором в его химии (1922). В него не включены числа для больших городов, которые отражаются очень сильно в тех максимумах и минимумах, которые приводятся для отдельных элементов. В 1874 году правительственная комиссия по изучению загрязнения рек в Англии дала $3,95 \cdot 10^{-3} \%$, как среднее для Англии.

³ Расположены по декадам весовых процентов в убывающем порядке.

⁴ Максимальное число (Ротамстид) связано с близостью к морю. Обычно максимум не очень превышает $5,0 \cdot 10^{-3} \%$. Есть случаи (Ротамстид) до $5,7 \cdot 10^{-2} \%$ Cl. Среднее для Англии $2,2 \cdot 10^{-4} \%$ Cl (A. Smith. 1874). Дальтон (1822) считал максимумом $2,0 \cdot 10^{-2} \%$ NaCl.

⁵ Максимальное число исключительное. Максимум обычно близок к $2,2 \cdot 10^{-3} \%$. Есть определения до $3,8 \cdot 10^{-2} \%$ Na.

⁶ Кислород входит (свободный) в газовом растворе в количествах порядка $3,6 \cdot 10^{-4} - 1,0 \cdot 10^{-3} \%$, в форме CO₂ порядка до $1,3 \cdot 10^{-3} \%$, обычно $2,6 \cdot 10^{-4}$, в форме ионов SO₄^{''} порядка $8,8 \cdot 10^{-3} - 1,6 \cdot 10^{-6} \%$, NO₃['] до $3,6 \cdot 10^{-3} \%$.

⁷ Азот в виде свободного азота в газовом растворе до $2,5 \cdot 10^{-3} \%$, (обычно $1,5 \cdot 10^{-3} \%$). В виде ионов NO₃['] до $3,6 \cdot 10^{-3} \%$, ионов NH₄⁺ до $1,6 \cdot 10^{-3} \%$, в органич. вещ. до $5,0 \cdot 10^{-3} \%$. Может быть азот перейдет в следующую высшую декаду. Органический азот до $1,4 \cdot 10^{-3} \%$. NO₂ до $3,2 \cdot 10^{-6}$.

⁸ Не принято во внимание органическое вещество. Большие числа порядка $10^{-3} \%$ связаны с влиянием человеческой культуры. Вероятно дожди — вне этого — давали бы максимальные числа порядком ниже — $5 \cdot 10^{-4}?$

⁹ В виде иона SO₄^{''} (до $8,8 \cdot 10^{-3} \%$), в органич. веществах ($n \cdot 10^{-3} \%$). В городских поселениях и фабричных местах до $3,8 \cdot 10^{-2}$ и больше.

¹⁰ В виде CO₂ до $5,10^{-4} \%$, в органическом веществе (до $2,5 \cdot 10^{-3} \%$). Живые организмы не приняты во внимание. Обычно весовой процент CO₂ порядка $10^{-4} \%$.

¹¹ В ионах NH₄⁺, в органич. веществах.

¹² Очевидно, в соответственно меньших количествах должны находиться X, Ne, Kr.

¹³ Неорганический иод до $7,1 \cdot 10^{-7}$, органический до $7,3 \cdot 10^{-7} \%$. Иногда последнего нет.

Следы Br, Ra,¹ Rn, Ne, Kr, Xe, He, Mn, Ni.

584. После падения на земную поверхность этот состав дождевой воды, который — по методике взятия образцов — очень близок к составу тучевой воды, первое время довольно устойчив.

Заметно он начинает меняться только при развитии жизни.

Быстро меняется только режим газов, главным образом, углекислоты. Увеличение углекислоты, по мере старения дождевой воды, является по существу основным явлением в создании состава природных вод, не только в связи с непосредственным влиянием водной жизни, но и с тем, что, попадая на земную поверхность, на почву, дождевая вода обычно вхолит в газовую среду, очень богатую биогенной углекислотой.

Дождевая вода отличается малым количеством органических веществ, в ней растворенных. Они есть в ней (порядка 10^{-6} — $10^{-7}/\text{г}$) и содержат азот. Желательны анализы.

В некоторых случаях, ближе к океанам, где метеорные воды содержат много хлора, увеличивается содержание этого элемента. Обычно его немного.

Дождь содержит мельчайшую муть, взвешенные частицы, количество которых доходит до $2,5 \times 10^{-2}/\text{г}$ по весу, может быть и больше. Обычные указания (немногочисленные) дают числа $7,1 \times 10^{-4}$ до $4,0 \times 10^{-3}/\text{г}$.

585. К метеорным водам относятся своеобразные пресные воды, не проходящие стадию туч и туманов — воды росяные.

Их можно рассматривать как проявление явления аналогичного дождю, идущего как в самой близости к земной поверхности — на расстоянии немногих метров от твердых поверхностей, — так и в подземных частях тропосферы, близких к земной поверхности. Для почвенного воздуха это есть внутренний туман.

Отличие росяных вод связано как с подклассом (так как это, должно быть, воды, очень богатые углекислотой), так и с видом, так как эти воды должны быть богаты своеобразными (легко летучими) органическими веществами и такими кислотами, как серная или азотная (азотистая?), может быть, иногда в свободном состоянии. К сожалению, анализы по видимому отсутствуют.

Росы, выделяющиеся в тундрах, степях, полях, лугах, лесах и т. п., осаждаются часто на растениях и тесно соприкасаются с водой, выделяемой этими организмами. Они могут в таком случае иметь некоторые свойства органогенных вод.

Может быть эти воды меняются в своем составе в зависимости от того живого мира, на котором они осаждаются. Они должны быть относительно богаты радоном (и Tn?) и захватывают „запахи“, т. е. летучие выделения организмов и органогенных соединений биосферы.

В приморских областях могут быть богаты хлором и иодом.

Количество углекислоты должно быть очень велико (переход к почвенным растворам).

Химически росяные воды, можно сказать, не изучены. Их изучение (даже в смысле элементарного состава) в разных широтах и в разных биоценозах, систематически поставленное, может дать важные данные.

Мне известны отдельные количественные пробы на немногие химические элементы. Таковы:

$$\begin{array}{l} \text{Cl } 8,0 \times 10^{-4} - 3,5 \times 10^{-4} \\ \text{NH}_3 6,2 \times 10^{-4} - 1,0 \times 10^{-4} \end{array}$$

586. Есть еще одна форма метеорных осадков, которая должна быть выделена, но которая совершенно, сколько знаю, количественно не изучена.

¹ Нахождение Ra (требует проверки) вызывает неизбежность нахождения и других его производных. То же очевидно существует и для радона. Торон находится в воздухе — должен надохнуть в дожде. Важно выяснить, есть ли в дождевой воде радий без урана?

Это — метеорные осадки, исключительно богатые углекислотой.

Таковы, во-первых, углекислые туманы.

Такие туманы распространены в городских поселениях; к ним принадлежат например знаменитые лондонские туманы, туманы фабричных районов. Количество углекислоты достигает в них до $4 \times 10^{-2} \%$, и даже отмечены случаи с $10^{-1} \%$ — ($1,4 \times 10^{-1}$ по W. Russel'ю). Эти числа требуют проверки.

Но такие углекислые туманы не только свойственны городам — они наблюдаются над богатыми растительностью лугами, прериями, лесными массивами.

А с другой стороны, они должны создаваться над сольфатарами и областями, богатыми углекислыми струями.

Туманы повидимому очень концентрируют соединения азота (NH_3).¹

Можно отметить следующие измерения:

$$\begin{aligned} \text{NH}_3 & 1,4 \times 10^{-2} - 1,3 \times 10^{-4} \% \\ \text{N}_2\text{O}_5 & 1,0 \times 10^{-4} - 4,0 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

587. Помимо туманов есть повидимому и богатые углекислотой дождевые воды, происхождение которых неясно. Такие углекислые дожди описаны для Западной Сахары, где нормально они наблюдались для дождей, связанных с пустынными вихрями (coups de vent) или песочными ураганами, довольно обычными в этих местах. Капли такого дождя падают редко; они большие. Пробуя их на раствор $\text{Sa}(\text{HO})_3$, они сразу при падении дают пленки CaCO_3 , которые не образуются от обычной дождевой воды при этих условиях (Amà, 1885). Это все, что, кажется, известно об этих любопытных дождях. Амà подчеркивает их большую роль в денудации и изменении известковых почв и пород.

К этому же подклассу углекислых вод должны относиться по крайней мере некоторые виды росяных вод (§ 584).

588. Перейдем теперь к гораздо более мощному, сновному, подцарству пресных вод суши — подцарству наземных вод.

Подобно водам метеорным, и эти воды неизменно существуют в течение геологического времени, с археозоя. Но в отличие от вод тропосферы, географически на поверхности суши древность отдельных водоемов различна.

Картина, которая нам теперь вырисовывается и охватывается в данный момент нашим научным мышлением, есть картина мозаичная. Разные части ее — разной древности и разной длительности. Только взятая в целом она остается миллиард-два лет идентичной.

Географически взятые водоемы воды, т. е. химически определенные воды, в данном месте существуют ограниченное время.

Это время с геологической точки зрения довольно длительное. Только для наземных вод, связанных с метеорными водами — луж (§ 591), — мы имеем быстро преходящие, недолго существующие воды, постоянно возобновляемые.

Все другие очень мало меняются в историческое время. Однако они все же меняются в течение тысячелетий, и картина наземных вод, ныне наблюдаемая, дает понятие — с небольшими поправками — о явлении, существующем в течение десятков тысяч лет, и с несколько меньшей точностью о том, что было сотни тысяч лет раньше.

Некоторые семейства наземных вод, например реки, находятся на тех же местах непрерывно в течение миллионов лет, несомненно для некото-

¹ Концентрация NH_3 в туманах требует не только проверки, но и не исследована. Уже в 1860 году Барраль указывал до $5 \times 10^{-3} \%$ NH_3 . Леви в Монсури в Париже наблюдал максимум (1876) — $6,6 \times 10^{-3}$. Число, здесь данное, указано Кёнигом (1893).

рых с плиоцена, а для других с мезозойской эры (возможно есть и более древние).

589. Едва ли можно сомневаться, что здесь мы имеем дело не со случайным, а со строго закономерным явлением, которое мы только не можем охватить сейчас в полном масштабе.

Здесь вероятно проявляются черты определенной организованности земной коры, похожей на механизм. Так и та климатическая зональная смена на земной поверхности, которая правильно распределена по отношению к полюсам и отклонение которой от полюсов в течение всего геологического времени ограничено (§ 76 сл.), связана с поясным распределением наземных вод и вод верхних покровов, очень характерным для почвенных растрескиваний, для озер, для болот, для большинства рек кроме тех, которые прерывают зональность и проходят через ряд климатических поясов и т. п. Мы знаем, что географически — т. е. на том же месте — эти климатические пояса выдерживаются геологически длительно, и, например, области современных пустынь или тропических поясов в значительной части своих площадей заходят за ряд геологических периодов, с третичного времени по крайней мере. Очевидно, в общих чертах в них сохранились и выдерживаются столь же длительно и многие конкретные случаи видов воды и общий характер этих видов.

Резкие изменения в историю наземных вод вносятся прежде всего ледниковыми периодами и в более медленном темпе тектоническими перемещениями. Как указано, мы живем сейчас в замирающем ледниковом периоде и на каждом шагу в истории воды сталкиваемся с испарением и с таянием существовавших в гораздо большем масштабе, чем ныне, материковых ледниковых покровов. Огромные области, занятые некогда этим ледниковым покровом — в Северной Америке, Европе, Сибири в первую очередь — и прилегающая к ним огромная площадь, режим наземных вод которых они в свое время нарушили, вмещают наиболее молодых представителей наземных вод. Кое-где с их исчезанием — и со связанными с этим движениями суши — восстановились и старые пресные воды, вернее они заняли прежние водовместилища, но в истории их вод был перерыв (например реки севера Европейской СССР, по указанию Б. Л. Личкова).

Ледниковый покров отражался иначе, но глубоко за своими пределами. Так, например, в Африке и в подтропических областях он сказывался в изменении режима осадков (дождевые периоды) и в связи с этим состава и характера воды озер и рек.

Наиболее древние примеры наземных вод мы должны искать в областях древних до-плейстоценовых оледенений вне влияния новых, третичных и более молодых, мощных дислокаций, например в Южной Америке и Южной Индии (ср. § 606).

Явления зональности, еще медленнее изменяющиеся в историческое время, представляют и высокие горы и низменности.

Для них химический состав наземных вод во многом резко различен в разных геохорах. Мы уже с этим встречались (§ 561). Реки и озера горных областей и низменностей имеют воду разного состава.

590. Среди наземных вод суши наблюдается гораздо большее разнообразие, чем в водах тропосферы.

Мы должны здесь резко различать кислородный ряд наземных вод — господствующие тела этого подцарства, затем ряд бескислородный. В подклассах кислородного ряда общего состава — N_2 — O_2 — CO_2 — удобно выделять подряды по CO_2 .

Для кислородного ряда можно отличить следующие семейства: 1) Временные водоемы, лужи — продукты туч. 2) Малоподвижные стоячие воды — продукты туч и верховодок. 3) Текучие воды, связанные с тучами и верховодками. 4) Стоячие воды, связанные в первую голову с рельефом. 5) Реки. 6) Озера. 7) Вулканические и гейзерные воды. 8) Болотные воды.

9) Стоячие коллоидальные воды. 10) Рудные воды. 11) Биогенные воды. Для бескислородного ряда: 12) Придонные воды очень многих поверхностных вод, содержащих кислород.

591. Временные поверхностные воды, химически чрезвычайно мало изученные, образуют в своих представителях, связанных с метеорными осадками — дождями, отчасти снегом, одну из важнейших по весу форм воды в биосфере. Это всем известные лужи.

Падая на земную поверхность, дождевые воды в первое время мало подвергаются химическим изменениям и сохраняют — в течение дней, а может быть и недель — тот ионный состав, который дает анализ дождя. Но уже скоро начинается изменение этих вод, и, впитываясь в почвы, уходя в глубь биосферы, они „разбавляют“ все встречаемые воды, меняя не только их концентрацию (ее уменьшая), но и внося химические элементы, прошедшие через тропосферу (ср. § 611).

Дождевые воды поверхности планеты — лужи, представляют количественно не менее грандиозное явление, чем то, какое имеют тучи. Я вернусь к его рассмотрению ниже, здесь же только отмечу, что по массе воды, им захваченной в каждое данное время, скажем — в течение года, мы имеем в лужах количества вещества по крайней мере того же порядка, как пресная вода рек или озер.

Таким образом лужи и тучи отвечают по составу хотя и временно одной и той же дождевой воде. Но различия морфологические так велики и ясны, что никто не усомнится в их принадлежности к разным видам минералов.

Главное изменение (кроме CO_2), химически не изученное, вносится жизнью, которая отсутствует в тучах и которая характерна и своеобразна в лужах. По мере того как лужи стареют, химическое изменение их вод увеличивается. Оно несомненно идет закономерно. Закономерность его ясна уже из того, что морфологически фауна и флора луж чрезвычайно индивидуальны и своеобразны.

В то же самое время некоторые из луж, богатые гниющими органическими веществами, могут доводить количество жизни до максимальных пределов, нам известных. По исчислениям по методике, выработанной Н. Т. Холодным, количество неделимых бактерий в таких лужах может достигать до 5×10^8 в см^3 (Д. Радзимовский, 1930), т. е. они по весу могут составлять проценты воды.¹

К сожалению химических анализов вод — превращения дождевой воды в лужевую воду — нет.

Впитываясь в землю, воды луж медленно и постоянно переходят в воды почв, подпочв и вод выветривания, компоненты которых при долгом стоянии луж в свою очередь в них проникают.

592. Разнообразие этих явлений очень велико. Я не имею возможности перечислить все случаи, хотя они и интересны и важны с точки зрения химии вод, так как приводят к разным минеральным видам или подвидам.

Переход от быстро исчезающих луж к постоянным вместилищам метеорной воды совершенно постепенный, и в общем для данной местности промежуточные стадии закономерны.

В дальнейшем изучении род эта закономерность, конечно, выяснится, и стадии будут точно установлены. Пока же можно отметить некоторые:

1. Дождевые лужи в связи с рельефом и метеорологическими условиями местности могут держаться в некоторых местах неделями и годами. Такие постоянные лужи очевидно имеют другую воду, резко различную в разных климатических поясах и геохорах (например, в тундрах, полупустынях и т. д.).

2. Воды, которые образуются от таяния снегов. Частным, особым случаем являются воды, которые происходят от таяния длительных снежных и ледяных образований — ледников, ледяных гор и т. п.

¹ Примем вес бактерий в 10^{-9} — 10^{-11} г.

3. Воды, которые образуются после разливов рек (реже озер)—закономерно в половодье.

4. Воды, которые связаны с выходом (в дождливое время) на поверхность подземных вод—верховодок. Очень часто это более длительные воды, переходящие в постоянные. Сюда относятся топи разного характера, часто высыхающие в жаркие и сухие месяцы и годы. Своеобразны так же воды в лесах. Местами могут в виде топей выходить более глубокие пластовые воды.

5. Аналогичны своеобразные воды, которые образуются во впадинах и на склонах каменистых пород во влажных местах и странах в связи главным образом с метеорными водами. Растительность, особенно водоросли и мхи, захватывают эти воды, давая переходы в органогенные и почвенные воды. Часто они связаны с источниками. В сухие годы или сухие времена исчезают. В тропических и подтропических странах играют большую роль. Химически не изучены.

593. Для всех этих вод характерна особая по форме жизнь—особый характер связанных с ней биохимических процессов и особый газовый режим.

Этот газовый режим мало подвергался изучению, но ясно, что здесь могут быть воды подклассов $N_2-O_2-CO_2$, $N_2-O_2-H_2S$ (последний биохимический), $N_2-O_2-NH_3$ (в лесных лужах—биохимический) (А. Spandl. 1925).

В этом перечислении воды 3—5 по своему состоянию уже далеко ушли от чисто метеорной воды, но все же с ней неразрывно генетически связаны.

К тому же типу вод должны быть отнесены другие типы луж, на характере которых резко сказываются свойства того субстрата, который слагает лужи.

Таковы, например, лужи сухих областей, связанные с редко идущими ливнями, быстро выбрасывающими большие количества метеорной воды в областях пустынь и полупустынь.

Таковы, например, силевые потоки в пустынных и полупустынных областях, у нас в Туркестане или в Сахаре, когда после ливней (силей) образуются воды, временно зиполняющие русла старых рек, почва которых богата солями (ср. § 674). В пресных разностях заключается п. 10^{-2} —п. 10^{-3} % NaCl. Они переходят в соленые силевые воды. Магний не определен. Вероятно, соленые разности пр обладают.

Количество органического вещества колеблется. Обычно его немного.

Судя по своеобразию поверхностных вод этих мест, надо думать, что здесь образуются своеобразные коллоидальные воды, каковыми являются вероятно и воды колодцев такыров.

Мы сталкиваемся здесь с малоохваченной научной мыслью областью явлений выветривания (§ 679), изучение которой только и поможет, подойти к более глубокому пониманию пресных наземных вод, чем то, какое мы сейчас имеем.

Аналогичные силевым потокам, богатые взмученными частицами—а следовательно и химически различные—воды, часто соленые, но и пресные—наблюдаются и в других случаях, например, воды грязевых горных потоков (Альпы). Химически они не изучены.

594. Совершенно особый вид луж представляют лужи, которые получаются на морях и океанах, соляных озерах во время ливней и долгих дождей. Для ряда мест—например, в определенные дождевые периоды года в области муссонов и пассатов—опреснение водных поверхностей достигает очень больших размеров.

Эти временные явления, в конце концов лишь слабо действующие на всю массу воды морей или океанов, постоянно существуют или восстанавливаются в картине природы и не должны упускаться из виду.

Их пресные воды имеют свой особый химический характер.

От этих вод, связанных прямо или близко с метеорами, должны быть отличены пресные воды на поверхности морей и океанов, изливаемые многоводными реками, например, Амазонка в Атлантическом океане или в мини-

атюре Чорох в Черном море. В конце концов эти воды — непрерывно существующие — исчезают в морской воде. В мелких морях (как, например, Белое) в конце концов их постоянное нахождение влияет на всю морскую воду, ее опресняет, не только разбавляет. Ибо в результате меняется биохимический фактор — населяющая их жизнь. Так изменена и вода тех Северо-Ледовитых морей, которые омывают берега Северной Сибири, куда вносят пресную воду великие сибирские реки.

595. Другие виды пресных вод дают лужи, которые получаются в ледниках и в фирновых полях и на них, при их таянии. Как всюду в природе, мы имеем здесь многочисленные разнообразные явления и соответственно многочисленные разности снежной или ледяной воды, этим путем получаемой.

Здесь лужа образуется не непосредственно из метеорной воды — дождя, снега или росы, а из измененной путем перекристаллизации и давления снежной массы.

Особый интерес и большое значение в истории воды имеют лужи (и озера), образующиеся при таянии айсбергов, плавающих ледяных гор, закономерно, как увидим позже, вносящих в океаны огромные количества пресной воды.

Они образуются при таянии айсбергов, например, во время их движения к югу в Северном Атлантическом океане как на их поверхности, так и под ними и вокруг них в морской воде.

Состав этих вод, богатых кислородом, должен быть своеобразен в виду, во-первых, богатства морского воздуха NaCl (и сульфатами) и, во-вторых, своеобразия флоры этих луж: в них преобладают диатомеи. Они должны быть богаты кремнием, может быть выделяемым благодаря биогенному разложению каолина мутей.

Кажется, анализов их нет. Мне известны только неполные пробы. Так, по определениям А. Чернышева (1901) мы имеем для пресных прудов на айсбергах:

Твердый остаток (при 130°)	$1,8 \times 10^{-2} - 7,6 \times 10^{-2} \%$
Cl (м. б. содержится и Br)	$1,9 \times 10^{-2} - 4,0 \times 10^{-3} \%$
SO_4	$4,8 \times 10^{-3} - 6,1 \times 10^{-4} \%$

Эти пруды-лужи иногда содержат слабо соленую воду.

596. Помимо луж, к тому же типу, явно связанному с метеорными осадками, относится ряд разнообразных поверхностных вод — родников, ручьев, колодезев и т. п., частью временных, частью постоянных.

Они непосредственно переходят в колодезную питьевую воду — родниковую, пресных источников, верхних горизонтов пластовых вод — верховодки.

Для этих переходных вод есть некоторые химические данные. Для них по сравнению с дождевыми водами увеличивается связанный азот, органический углерод повидимому, кремнезем; твердый остаток.

Отличие от дождевых вод видно в следующих числах:

Сухой остаток	$6,3 \times 10^{-2} - 1,5 \times 10^{-3} \%$
Cl	$8,2 \times 10^{-2} - 3,5 \times 10^{-4} \%$
N^1	$2,6 \times 10^{-2} - 2,0 \times 10^{-6} \%$
C^2	$2,7 \times 10^{-3} - 3,5 \times 10^{-5} \%$

Количество остатка увеличивается на земных поверхностях, богатых известью, среди известняков и доломитов, и для них остаток, богатый Са и Mg, при выпаривании этой поверхностной воды легко достигает до $1,1 - 1,2 \times 10^{-1} \%$, т. е. получается солоноватая вода этой группы.

¹ Сюда входит органический азот (до $2,8 \times 10^{-3}$), азот аммиачный (до $5,6 \times 10^{-5}$), азот нитратов и нитритов (до $2,6 \times 10^{-3}$). Азот газообразный, растворенный не принят во внимание. Он увеличит все количество азота, максимум, до $8,0 \times 10^{-3} \%$.

² Это углерод органических соединений. Не принят во внимание углерод CO_2 (растворенный и в ионах CO_3^{2-} может быть, HCO_3^-).

Воды, содержащие до 1×10^{-4} органических веществ, считаются уже чистыми, от 1×10^{-4} до $3 \times 10^{-4} \%$ — средними по качеству (Е. Thore).

597. Итак дождевые воды быстро и глубоко меняются от пребывания на суше. Я уже указывал (§ 583), что они (лужи), благодаря поселяющейся в них жизни, быстро увеличивают количество CO_2 ; не менее быстро увеличивается в них количество растворимого органического вещества.

Падая на земную поверхность и на ней задерживаясь, дождевая вода входит в теснейший контакт с почвой, почвенными растворами; она проникает в почвы и смешивается с почвенными растворами.

Здесь начинается влияние того основного фактора, который определяет химический характер всех поверхностных вод биосферы — почвенного водного раствора. Пресные воды, особенно такие, относительно неглубокие, как воды рек, определяются в своей основной части характером почвенных процессов (§ 611), им же определяется состав верховодок; через реки почвенные растворы определяют в известной доле и состав солевого остатка океанических и морских вод.

Вода луж и временных скоплений дождевых и снеговых вод наименее изменена почвой; вода метеорная, которая проникла в почву и которая стекает дальше и глубже, через родники и верховодки в речные бассейны или в подземные пластовые воды, уже является резко измененной в своем составе по сравнению с метеорной и, должно быть, с лужной водой.

Частным случаем такого изменения является и то органическое вещество, которое в ней концентрируется и которое вырабатывается в почвенном растворе.

598. Основным элементом, главной составной частью массы поверхностных вод являются дождевые воды; это верно для более постоянных поверхностных вод, связанных с верховодками, выходящими этим путем на поверхность, и играющих огромную роль на ряду с реками и озерами в явлениях живой природы.

Они выходят на поверхность биосферы обычно в виде небольших водоемов, естественных колодцев, очень разнообразной формы, или в виде источников, нередко дающих в конце концов начало реке или озеру или образующих в месте выхода обычно небольшой водоем. Эти воды в главной своей части, хотя и близки к земной поверхности, являются однако уже подземными, верховодками (§ 698), и их подземные части огромны по сравнению с их выходящей наружу наземной частью.

Человек в течение многих тысячелетий изменил и изменяет режим этих вод до чрезвычайности (колодцы), увеличивая выходы этих вод на земную поверхность (§ 129).

Выходя на земную поверхность, воды, профильтровавшиеся через почву и подпочву, через все трещины, которые образуются в биосфере, передвигающиеся вне соприкосновения с тропосферой. — эти воды резко меняют свой химический состав по сравнению с лужами. Они чрезвычайно тесно связаны в своем химическом составе как с климатическими зонами (Г. Н. Высоцкий. 1900; К. Лисицын. 1920), так и с рельефом местности (Г. Высоцкий), с геохорами. Явления, связанные с разведением вмещающих их пород, сказываются чрезвычайно резко.

В странах сухих и жарких в породах, сильно разбедаемых или содержащих легко растворимые части, они легко переходят в соленые воды.

Связь с рельефом вызывает мозаичность их химического состава, резкие изменения в концентрации их солевого состава в одной и той же местности, на недалеких расстояниях.

Эти свойства вод имеют место в тех местностях, в которых верховодки — верхние горизонты пластовых вод — подходят к земной поверхности и к подпочвенным водам. Это явление, широко распространенное, как увидим в дальнейшем в истории воды в биосфере, охватывают большие пространства.

Оно вызывает топи (§ 591), и им же обусловлен колодезный режим культурного быта. Иногда при слабом проявлении поверхностных вод верховодка лежит близко к поверхности, как это имеет место например для Муганской степи; здесь она лежит на 2—3 метра от поверхности, реже спускается до 5 метров (Ф. Саваренский. 1925).

599. Понятие о валовом составе колодезных и родниковых дают следующие числа, указывающие пределы колебаний.

Химический состав воды источников, родников, колодезей, (верховодки)

Колодезные (родниковые) воды $O-Ca-Cl-S-C-(Na)$

Твердый остаток ¹ . . . $1,2 \times 10^{-3} - 1,0 \times 10^{-1}$

Элементы (за исключением H_2O)

O ²	$9,4 \times 10^{-2} - 6,1 \times 10^{-4}$
Ca ³	$5,9 \times 10^{-2} - 1,5 \times 10^{-5}$
Cl	$3,9 \times 10^{-2} - 3,5 \times 10^{-5}$ (сл.)
S ⁴	$1,2 \times 10^{-2} - 3,3 \times 10^{-5}$ (сл., иногда нет)
C ⁵	$1,8 \times 10^{-2} - 38 \times 10^{-4}$
Na	$9,8 \times 10^{-3} - 1,0 \times 10^{-4}$
N ⁶	$8,2 \times 10^{-3} - 1,8 \times 10^{-3}$
Mg	$3,9 \times 10^{-3} - 5,0 \times 10^{-6}$
K	$3,9 \times 10^{-3} - 2,1 \times 10^{-5}$
Si	$30 \times 10^{-3} - 3,1 \times 10^{-5}$
Al ⁷	$1,8 \times 10^{-3} - 1,3 \times 10^{-5}$ (сл.)
H ⁸	$9,4 \times 10^{-4} - 2,2 \times 10^{-7}$
Fe ⁹	$5,4 \times 10^{-4} - 7,0 \times 10^{-6}$ (сл.)
Ag	$9,7 \times 10^{-5} - 5,5 \times 10^{-5}$
Au	$4,6 \times 10^{-6} - ?$
H ₂	$3,4 \times 10^{-6} - ?$
J	$1,0 \times 10^{-6} - 2,1 \times 10^{-9}$

¹ Таким образом мы имеем постепенный переход в соленые воды — во второй класс природных вод ($1 > 1 \times 10^{-10}$ остатка).

² Кислород, растворенный (мин. $1,0^{-3}$ ‰), органических веществ (до $6,8 \times 10^{-3}$ ‰), CO_2 (до $7,7 \times 10^{-3}$ ‰ и больше) и ионов HCO_3' , CO_3'' (всего до $2,2 \times 10^{-2}$ ‰), ионов SO_4 (до $4,6 \times 10^{-2}$ ‰), NO_3' (до $8,7 \times 10^{-3}$ ‰), мицелл SiO_2 и т. д.

³ Максимальная цифра отвечает водам в областях развития известняков и доломитов. Обычно кальция гораздо меньше (часто порядка 10^{-2} ‰).

⁴ Иногда следы (т. е. меньше 1×10^{-6} ‰). Не принято во внимание органическое вещество. Приняты во внимание ионы SO_4'' и небольшие количества H_2S (иногда).

⁵ Не приняты во внимание организмы (бактерии), не меняющие однако пределов. Обычны ионы HCO_3' и CO_3'' ; всегда растворенная CO_2 обычно не выходит за пределы декады 10^{-3} ‰, так как количество углерода в растворенной CO_2 не выходит за эти пределы. Вероятно не подымет декаду и углерод органического вещества. Прямые определения Пикона (1932 г.) для углерода органического вещества 4 источников Франции дают $2,3 \times 10^{-4}$ до $5,0 \times 10^{-6}$ ‰.

⁶ Количество азота не может понижаться ниже декады 10^{-3} ‰, так как едва ли количество растворенного азота спускается ниже $1,8 \times 10^{-3}$ ‰. Азот связанный едва ли спускается ниже (до $n \times 10^{-3}$ ‰) $1,0 \times 10^{-6}$ ‰. Для N аммиачного 10^{-5} ‰.

⁷ Минимальный предел 10^{-5} вероятно слишком высок.

⁸ В H_2S , в ионах NH_4' . Ионы H^+ и HO^- не приняты во внимание.

⁹ Иногда указываются „следы“. Меньше 10^{-6} ? Частью в виде мицелл в органических веществах или гидратах Fe_2O_3 .

Mn	$1,5 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-8}$
Kr	$1,2 \times 10^{-9}$
Xe	$2,0 \times 10^{-10}$
Ra	$6,9 \times 10^{-14} - 0$
Rn	$3,8 \times 10^{-14} - 4,3 \times 10^{-18}$ (газ)

Органич. вещества $7,0 \times 10^{-2} - 2,0 \times 10^{-4}$

Несомненно, эти числа дают очень неполное представление о составе этих вод. Очень многие элементы в ней доказаны только качественно, а другие присутствующие оставлены без внимания. Качественно определены P, V, Br, Li, Ag, Ne, Kr, Xe.

Резкое преобладание Са над Na связано, вероятно, с недостаточным числом анализов.

Вероятно, в разных „ландш фтных“ поясах, в разных геохорах наблюдаются в одних воды более богатые Na, в других — Са.

Количество бактерий дает массы, отвечающие до $10^{-2} - 10^{-1}$ ‰ веса воды.

Есть, повидимому, разные подклассы вод — переходы в кислородо-азотно-сероводородные, углекисло-азотно-кислородные и т. п.

600. Несомненно приведенные здесь числа дают только очень общее понятие о составе родниковых вод. Эти воды очень сильно меняются в зависимости от петрографического состава пород, в которых они находятся.

Так, по Э. Рейхардту (1875), для горных ключей Германии состав меняется в зависимости от состава пород; получаются резко различные воды:

Порода	Сухой остаток ‰	Органич. вещ. ‰	N (св з.) ‰	Cl ‰	S ‰	Ca ‰	Mg ‰
Гранит	$2,4 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-3}$	0	$3,3 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$6,9 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-3}$
Пестрый песчаник	$1,3 \times 10^{-2}$	$1,4 \times 10^{-3}$	$2,3 \times 10^{-3}$	$4,2 \times 10^{-3}$	$2,9 \times 10^{-3}$	$5,2 \times 10^{-2}$	$8,4 \times 10^{-3}$
Раковистый известняк	$3,3 \times 10^{-2}$	$9,0 \times 10^{-4}$	$4,8 \times 10^{-5}$	$3,7 \times 10^{-3}$	$4,6 \times 10^{-3}$	$7,4 \times 10^{-2}$	$1,1 \times 10^{-2}$
Доломит	$4,2 \times 10^{-2}$	$5,3 \times 10^{-4}$	$5,3 \times 10^{-4}$	сл.	$1,1 \times 10^{-2}$	$2,9 \times 10^{-1}$	$1,4 - 10^{-2}$

Уже для вод, проходящих в гипсовых породах, мы имеем дело с солеными водами, так как средний твердый остаток равен $2,4 \times 10^{-1}$ ‰.

Характерно уменьшение солевого остатка в областях массивных пород. Это приводит, как мы видели (§ 564), к отдельным родникам химически чистой воды, вероятно, в связи с своеобразным проявлением частичных сил.

601. Широко распространенную группу поверхностных и верхнепластовых вод составляют воды, находящиеся в областях известковых и доломитовых пород, столь широко распространенных на земной поверхности. Эти карбонатные воды — Са — С — О и О — С — Са — Mg — переходят в конце концов по мере углубления в воды углекисло-кислородно-азотные. Твердый осадок $n \cdot 10^{-2} - n \cdot 10^{-3}$ ‰. К сожалению, нет полных анализов. Отношения Са/Mg меняются. В чисто доломитовых областях это отношение равно 1,5, в смешанных доломитовых и известковых 2-4 (Н. Klä hn, 1926).

602. Огромное количество бедных углекислотой поверхностных вод наблюдается в условиях, в которых не может быстро развиваться в них органическая жизнь.

Таковы горные воды — озера, ручьи и т. п., связанные с таянием снегов, и ледников. Некоторые — может быть небольшие — горные озера отличаются исключительной чистотой и главным образом бедностью углекислотой.

От горных ручьев есть все переходы к горным каскадам — водопадам. Эти воды иногда бывают пересыщены или по крайней мере насыщены кислородом, озонированы.

От них есть переходы в азотно-кислородно-углекислые воды.

603. Уже в областях, где развиты массивные породы, воды отличаются относительным богатством кремнием в форме ионов HSiO_3' , SiO_3'' или зольей SiO_2 . То же самое наблюдается в областях, происшедших от разрушения массивных пород или биогенных, богатых кремнием, пород биосферы и стратисферы.

Совершенно ясно, что преобладание кремнезема в земной коре должно отразиться на составе вод как подземных, так и наземных.

Оно всюду видно и в водах родниковых и в верховодках, но, к сожалению, чрезвычайно мало изучено и настоятельно требует систематического изучения. Виды таких вод различные. Их наблюдают, например, среди вод, связанных с разрушением колчеданов и относящихся к подклассу, характеризующему H_2S (§ 604), но есть родниковые воды иного типа. Так, например, около Спраа, по Джонсу, существуют воды с сухим остатком $1 \times 10^{-3} \%$, половина которого состоит из SiO_2 . Эти кремневые воды переходят в верховодки, часто также богатые кремнием.

Часть кремния находится в них в коллоидальном растворе, часть же в виде ионов SiO_3' , может быть HSiO_3' .

Я вернусь ниже к этому явлению при изучении подземных пресных вод (§ 674) и в геохимии кремния в природных водах.

В разнообразных случаях — частью в тесной связи с тем культурным изменением, которое производит на поверхности биосферы человек — подземные пресные воды, почвенные и верховодки дают разнообразнейшие мелкие водоемы — своего рода постоянные лужи, нас всюду окружающие, но лишь случайно подвергающиеся исследованию. Они смешаны с метеорными водами.

Вот пример таких водоемов в штольнях, богатых радием руд, около Иоакимсталя (J. Stoklasa и Penkava, 1932). Это воды, в которых кроме ионов SO_4 и SiO_3 преобладают Ca или Na, т. е. воды O—Ca—S—Si или O—Na—Si—S—или их смесь.

Вот эти числа:

Твердый остаток (тр: анализа)

$$1, 2 \times 10^{-2} - 7,2 \times 10^{-3} \%$$

Элементы

$$\text{O}^1 \quad 4,7 \times 10^{-3} - 1,9 \times 10^{-3}$$

$$\text{Ca} \quad 2,7 \times 10^{-3} - 7,2 \times 10^{-4}$$

$$\text{Na} \quad 1,7 \times 10^{-3} - 5,8 \times 10^{-4}$$

$$\text{S}^2 \quad 1,4 \times 10^{-3} - 4,3 \times 10^{-4}$$

$$\text{Si}^3 \quad 1,1 \times 10^{-3} - 4,4 \times 10^{-4}$$

$$\text{Cl} \quad 8,0 \times 10^{-4} - 3,7 \times 10^{-4}$$

$$\text{Mg} \quad 6,7 \times 10^{-4} - 5,6 \times 10^{-4}$$

$$\text{Fe} \quad 4,5 \times 10^{-4} - 2,1 \times 10^{-5}$$

$$\text{K} \quad 3,9 \times 10^{-4} - 2,7 \times 10^{-4}$$

$$\text{Mn} \quad 2,1 \times 10^{-4} - 3,0 \times 10^{-5}$$

$$\text{P}^4 \quad 1,2 \times 10^{-4} - 9,9 \times 10^{-5}$$

$$\text{Li} \quad 5,0 \times 10^{-6}$$

Все они содержат Rn в количествах $1,4 \times 10^{-13}$ $2,6 \times 10^{-15} \%$

¹ Из SO_4 (до $4,2 \times 10^{-3}$), (до $3,0 \times 10^{-3}$), PO_4'' (до $3,6 \times 10^{-4} \%$).

² Из SO_4 .

³ Из SiO_3'' .

⁴ Из PO_4'' .

604. В разнообразных поверхностных водах наблюдается сероводород разного происхождения, связанный обычно с биохимическими процессами. Он большей частью получается восстановлением бактериями сульфатов. Среди таких вод преобладают железистые и кальциевые воды.

Кальциевые — $O-S-Ca$ — воды большей частью должны быть отнесены к классу соленых вод (остаток от выпаривания больше $1 \times 10^{-1} \%$).

Железистые воды образуются в очень многих местах в виде родников и ручьев, связанных с разрушением марказитов, — в Европейской части Союза, например, в областях юрских песчаников и глин. Иногда H_2S в них сходит на нет. Анализ таких источников в бассейне Вятки (урочище Сухой Бор) приводится Н. Кассиным (1928):

Сухой остаток $6,6 \times 10^{-3} \%$

Элементы в весов. $\%$

O	$2,4 \times 10^{-3}$	S	$7,1 \times 10^{-5}$
Si	$7,5 \times 10^{-4}$	C	$4,1 \times 10^{-5}$
Fe	$3,3 \times 10^{-4}$	Al	$3,8 \times 10^{-5}$
Ca	$2,0 \times 10^{-4}$	K	$n \times 10^{-5}$
Mg	$1,6 \times 10^{-4}$	H_2S	?
Na ¹	$n \times 10^{-4}$	органич.	
		вещ-ство	$3,4 \times 10^{-3}$

Это воды $O-Si-Fe-(S)$? Очевидно, в этих водах сера постепенно уходит в воздух в виде H_2S . Их конечным продуктом должно быть явиться воды известково-карбонатные? Очень желательно ближе изучить эти воды.

605. Новые компоненты поверхностных вод — луж, родников, почвенных вод, рек, озер и т. п. — получают разным путем: 1) путем выщелачивания, т. е. растворения легко растворимых тел, находящихся в окружающей воды нерастворимой твердой среде биосферы; 2) путем выветривания, т. е. химического, биологического и физического изменения пород и минералов твердых покровов планеты с созданием в них новых легко растворимых и распыляемых соединений, дающих начало компонентам поверхностных природных растворов — ионам, мицеллам, газам, мутям. Угольная кислота, вода (гидратация в частности — § 309 сл.), биохимические и биогеохимические процессы, метеорные осадки и ветер создают тела выветривания. Процессы выветривания идут в подземных водах, в почвенных, подпочвенных, иловых растворах — в верхних частях верховодок (§ 678) связаны с метеорными водами. Они создаются геохимической энергией жизни, лучистой энергией солнца (световой и темной), радиоактивной энергией, химическими и частичными силами, может быть космическими излучениями и наконец 3) путем разъедания, т. е. перевода в раствор целиком тех или иных твердых тел биосферы, трудно растворимых или „нерастворимых“ в чистой воде, но легко или заметно растворимых в природных растворах.

К этим трем основным процессам надо прибавить биогенную миграцию химических элементов, связанную как с жизнью, так и с продуктами ее выделения.

606. В ходе этих процессов редко собираются в больших массах особые воды, где специально собираются компоненты, полученные только одним из этих путей. Обычно все эти процессы действуют в биосфере одновременно и дают общий эффект во всех близких к поверхности водах. Особые, свойственные каждому процессу воды все же должны встречаться чаще, чем нам это сейчас кажется.

Должны существовать воды, связанные с преобладанием каждого из указанных процессов нового создания компонентов. Таковы воды,

¹ Есть общее число для $(Na + K)_2O \dots 2,0 \times 10^{-4} \%$.

связанные с выщелачиванием; мы их видим в соленых водах морских осадков, сделавшихся сушей, и в тех первичных пресных разностях, которые получают в них в начале процесса изменения, в лужах этих областей, например (ср. § 592) — силевые воды. Эти процессы выщелачивания на поверхности биосферы должны иметь огромное значение в создании неисследованных пресных волосных вод осадочных пород (§ 736).

В связи с процессами разъедания создаются воды поверхностные карстовых областей и отвечающие им воды подземных водоемов; известны пока пресные (§ 706 сл.).

В связи с процессами выветривания, связанными с образованием коллоидов и гидратов, образуются специальные воды, совершенно не изученные — подпочвенные растворы (§ 679). Они отличаются от почвенных растворов прежде всего меньшим и иным влиянием жизни. В истории коллоидальных вод мы уже сейчас можем отметить их проявление. Будущие работы выяснят этот процесс во всем его значении. Область подпочвенных вод должна являться главной областью выветривания и должна отражаться на водах: почвенных, грунтовых и наземных.

Во всех ниже рассматриваемых водах мы имеем случаи закономерных смесей, где в конце концов могут быть для компонентов установлены определенные типы их образования.

607. Пресная речная вода занимает очень видное место в истории природных вод и по массе и по геохимическому эффекту. Она по крайней мере втрое по массе преобладает над массой озерной воды.

По Гальбфассу объем речной воды исчисляется в 1×10^5 тонн кубических километров, образуя массу порядка 10^{14} тонн. Преобладают мелкие реки. Наибольшими реками по длине являются Миссисипи—Миссури, Амазонка, Нил, Янгтзе, Енисей (11152 — 7600 километров); наибольшими по бассейну — Амазонка, Конго, Миссисипи — Миссури, Рио де Лаплата, Обь (2.18×10^7 — 7.6×10^6 кв. км).

В общем всякая река представляет равновесие, чрезвычайно устойчивое — состав которого меняется только в течение геологического времени.

Современные реки в большинстве случаев выходят за пределы плейстоцена в третичную систему по крайней мере. Ирравади в Бурме непрерывно существует с начала третичного времени — несколько десятков миллионов лет тому назад. С конца третичного времени движутся воды Рейна; пережившего ледниковый период плейстоцена. Не менее древни реки Европейской части СССР. Еще более древни — с плейстоцена — реки Колорадо, Юта, Аризона, создавшие великие каньоны. Начало других рек, как, например, рек Южной Африки, должно уходить, судя по ее геологической истории — глубже (§ 587 — 588). Возможно, что есть реки, существующие с мезозой — сотни миллионов лет? Или даже древнее?

608. Газовая атмосфера пресных рек связана с резким преобладанием (по весу) CO_2 над N_2 и O_2 . Мы уже видели некоторые числа, сюда относящиеся (§ 575). Колебания отвечают следующим весовым процентам:

CO_2	7.8×10^{-3} — 3.9×10^{-3} ‰
N_2	2.7×10^{-3} — 1.6×10^{-3} ‰
O_2	1.4×10^{-3} — 8.4×10^{-4} ‰

По объему это будет, например, для Сены (Е. Пелиго. 1857):

CO_2	41,8‰
N_2	39,5‰
O_2	18,7‰
	100,0‰

Состав (солевой) относительно хорошо изучен. Числа колебаний устанавливаются тысячами анализов (§ 432 сл.).

609. Для пресной воды рек мы имеем следующие предельные числа выражающие состав остатка, отличающего воду пресных рек от химически чистой воды:¹

твердый остаток . . $6,2 \times 10^{-4} - 1,0 \times 10^{-10}/_0$ (по весу).²

По удельной электропроводности:

$$K_{18} 5,02 \times 10^{-4} - 1,7 \times 10^{-5}$$

Элементы (в весов. процентах)

O ³	$7,3 \times 10^{-2} - 3,8 \times 10^{-3}$	
Cl	$5,0 \times 10^{-2} - 1,2 \times 10^{-6}$	(среднее $6,0 \times 10^{-4}$ M) ⁴
Na	$2,3 \times 10^{-2} - 7,0 \times 10^{-5}$	
S ⁵	$1,7 \times 10^{-2} - 3,7 \times 10^{-6}$	(ср. $7,5 \times 10^{-4}$ M) ⁴
Ca	$1,7 \times 10^{-2} - 2,2 \times 10^{-5}$	
Si ⁶	$1,2 \times 10^{-2} - 4,8 \times 10^{-6}$	
C ⁷	$1,0 \times 10^{-2} - 1,2 \times 10^{-3}$	
Mg	$6,6 \times 10^{-3} - 6,0 \times 10^{-6}$	
Fe ⁸	$4,6 \times 10^{-3} - 1,0 \times 10^{-6}$	(Ср. $1,8 \times 10^{-5}$ M)
K ⁹	$3,4 \times 10^{-3} - 3,8 \times 10^{-6}$	
N ¹⁰	$2,5 \times 10^{-3} - 1,8 \times 10^{-3}$	
Al ¹¹	$1,7 \times 10^{-3} - 4,2 \times 10^{-6}$	(Ср. $1,7 \times 10^{-3}$ M)

¹ Значительная часть минимальных и максимальных величин как здесь, так и для озерной воды (§ 633) является средними аналитическими данными из нескольких анализов. Ср. о характере речных анализов — § 611.

² Т. е. с непрерывным переходом пресных рек в соленые.

³ В эти предельные числа вошли как растворенные газы, так и твердые компоненты. Газы определяют минимальный предел. Свободный кислород ($1,4 \times 10^{-3} /_0$ до $4,6 \times 10^{-4} /_0$ и меньше, но не ниже $10^{-4} /_0$); свободная углекислота (до $7,8 \times 10^{-2}$; спускается много ниже $1 \times 10^{-4} /_0$). Много кислорода в органических веществах (до $2,4 \times 10^{-2} /_0$); в реках, загрязненных человеком, их много, но для всей речной воды это влияние еще не может быть учтено. Кислород еще в ионах: $SO_4^{''}$ (примерно до $3,7 \times 10^{-2} /_0$), $CO_3^{''}$ и HCO_3 (примерно до $3,0 \times 10^{-2} /_0$), NO_3' (до $3,0 \times 10^{-3} /_0$), PO_4''' (до $2,0 \times 10^{-4} /_0$), NO_2' (до $5,4 \times 10^{-5} /_0$), в мицеллах SiO_2 (до $2,6 \times 10^{-2} /_0$), может быть в гидратах окисей алюминия и железа. Органические вещества не приняты во внимание. Их количество может быть больше указанных пределов для рек, загрязненных человеком.

⁴ M = средние числа Меррея.

⁵ Сера содержится главным образом в виде иона $SO_4^{''}$; реже и в исключительных случаях в виде растворенного H_2S — быстро исчезающего. Это наблюдается в так называемых «молочных реках»; в них наблюдается и растворенная и взмученная коллоидальная сера — см. § 663.

⁶ В виде мицелл SiO_2 . В органическом веществе.

⁷ Нижний предел устанавливается растворенной, всегда присутствующей в речной воде углекислотой. Находится углерод кроме того в органических веществах, в ионах $CO_3^{''}$ и HCO_3' . Живое вещество всегда присутствует: пределов содержания углерода оно не меняет (для бактерий $10^{-5} - 10^{-8} /_0$ по весу); может быть не изменит их и все органическое вещество. По более точным определениям Пикона (1932) для Сены и Шера, углерод органического вещества колеблется в пределе $2,3 \times 10^{-4} - 4,6 \times 10^{-5} /_0$ по весу.

⁸ В виде ионов Fe, может быть иногда $Fe(?)$. В мицеллах в форме органических комплексов и гидратов Fe_2O_3 , H_2O . В организмах. Иногда не открывается, т. е. меньше $n \times 10^{-7} /_0$.

⁹ Реки, содержащие $10^{-3} /_0$ K должны считаться богатыми калием, т. е. плодородными. Об этом ниже в главе геохимии год.

¹⁰ Нижний или верхний пределы определяются растворенным газообразным свободным азотом. Находится еще азот растворенного органического вещества (может быть золь), азот в ионах NO_3' , NO_2' , NH_4^+ , белковый азот (частью в органическом веществе, частью в микроскопической жизни). Ионы NH_4^+ может быть до $n \times 10^{-3} /_0$. Есть указания большие. Азота в верхней Волге и ее притоках по С. Озерову (1927):

Нитратного	$0 - 6,5 \times 10^{-4} /_0$	Белкового	$7,0 \times 10^{-7} - 4,4 \times 10^{-5}$
Нитратного	$0 - 4,4 \times 10^{-6}$	Всего	$2,1 \times 10^{-6} - 7,1 \times 10^{-1}$
Аммонийного	$0 - 4,9 \times 10^{-5}$		

¹¹ В виде ионов Al или мицелл $Al_2O_3 \cdot nH_2O$; в органическом веществе. Иногда не открывается, т. е. меньше $10^{-7} /_0$.

Zn ¹	$1,2 \times 10^{-3}$	— 0?
H ²	$9,8 \times 10^{-4}$	— $1,0 \times 10^{-7}$
Mn ³	$7,7 \times 10^{-4}$	— $2,8 \times 10^{-6}$ (0)
Ag	$9,6 \times 10^{-5}$	— $5,6 \times 10^{-5}$
As	$9,3 \times 10^{-5}$	— $2,10^{-7}$
P ⁴	$6,5 \times 10^{-5}$	— $8,8 \times 10^{-7}$ ‰ ³) (0)
F	$6,0 \times 10^{-5}$	— $2,0 \times 10^{-6}$
Cd	$5,4 \times 10^{-5}$	— 0
Sr	$2,3 \times 10^{-5}$	— ?
Li	$1,0 \times 10^{-5}$	— $3,2 \times 10^{-6}$ ‰ ср. $8,9 \times 10^{-5}$ М)
Cu	$2,1 \times 10^{-6}$	— ?
J ⁵	$1,3 \times 10^{-7}$	— $3,8 \times 10^{-8}$ (ср. $7,0 \times 10^{-8}$ Ф.)
Ag	$6,5 \times 10^{-9}$	— $6,0 \times 10^{-12}$
Au	$1,0 \times 10^{-9}$	— $3,0 \times 10^{-13}$

Несомненно, это далеко не полный список. Всегда есть еще Ra, He, Kr, Ne, X.

Rn $3,3 \times 10^{-16}$ — $4,3 \times 10^{-18}$ (газ)

610. Чрезвычайно характерно для рек нахождение органических веществ в растворе и в золях, а также в микроскопической жизни меньше 10^{-4} см размерами, главным образом бактерий. Но и более крупная жизнь составляет по весу — и по биохимическому эффекту — заметную и важную составную часть речной воды. Реки содержат значительную часть органического вещества в виде мутей, при чем мутность вод тесно связана с явлениями жизни.

Количество жизни в реке и в ее продуктах (CO₂, мутях и т. п.) подвержено периодическим колебаниям — как все ее явления. Для наших рек, например для Волги, резкое изменение — увеличение — дают весенние паводки (интересны наблюдения В. П. Радищева. 1926).

Наблюдения позволяют дать следующие предельные числа:

Бактерии⁶ $7,1 \times 10^{-3}$ — $1,0 \times 10^{-7}$
Органические вещества $7,7 \times 10^{-3}$ — $1,7 \times 10^{-4}$ ‰ (Ср. $1,7 \times 10^{-2}$ М)

Для жизни более крупной, чем бактерии, получаются числа, едва ли меньшие, чем для бактерий. Речной планктон менее многочислен, чем в озерах, но планктон должен составлять значительную его часть. Микроскопические, более крупные, водоросли и животные по весу вероятно отходят на второй план. Для Волги, например по А. Бенингу (1929), в литре содержится их более 10^{-6} неделимых. Я вернусь к значению этих явлений ниже.

Число для органического вещества требует более точного определения. Кларк (1920) считает, что приблизительно в среднем 10% по весу сухого остатка речной воды отвечает ее органическому веществу. В твердый остаток это вещество им не включено. Органические вещества будут в таком случае составлять: 1×10^{-2} — $6,2 \times 10^{-5}$ ‰ воды.

¹ Наблюдается лишь для рек, протекающих в областях метасоматических цинковых руд.

² В виде H₂S, ионов HCO₃⁻, H⁺. P_h = 7–7,2.

³ Нижний предел, может быть, слишком высок.

⁴ Ионы PO₄^{'''}. Органическое вещество. Иногда не открывается, т. е. меньше 10^{-7} ‰.

⁵ Органич. иод $1,5 \times 10$ до $4,7 \times 10^{-8}$ ‰, неорганический иод $2,3 \times 10^{-8}$ до $8,5 \times 10^{-8}$ (Фелленберг и др.). Возможны числа порядка 10^{-5} ‰. Среднее по Фелленбергу.

⁶ Я принял во внимание наблюдения Н. П. Холодного (1928) для Днепра, перечисляя их на вес бактерий 10^{-9} — 10^{-11} г.

Приполярные и притропические реки, в которых количество органического вещества доходит почти до 70% всего твердого осадка (Уругвай до 69,9%) и в которых это вещество имеет совершенно определенный твердый состав (§§ 621 сл.), должны быть выделены в особые виды.

611. Органическое вещество встречается в реках еще в составе мути, играющей огромную роль в истории реки.

Муть рек теснейшим образом связана с живым веществом, с геохимической энергией жизни.

Она сносится в реки в виде тончайшей пыли ветрами и метеорными водами. Ее количество теснейшим образом связано с разрыхляющей работой в почве, которую производят прежде всего животные и больше всего человек. Растительность закрепляет и закрывает почву, уменьшает принос мути.

Человек своей земледельческой культурой, коренным образом изменив известный порядок, нарушил установившееся в плейстоценовое время равновесие.

Области, бедные земледельческой культурой, богатые водой с неисчезающей растительностью, например болотистые, обладают реками, бедными мутью, например, Васьюганы (М. Барышников. 1929).

От мути имеются все переходы в коллоидальные системы; она входит в химические взаимодействия, меняет режим газов, ярко, иногда решающе, отражается на биохимических процессах.

Ее количество закономерно меняется. Во время паводков оно сильно увеличивается, т. е. меняется в связи с солнечным циклом биосферы. Для каждой реки это закономерный годовой или многолетний цикл.

Количество мути (по весу) аналогично другим компонентам природной воды.

Оно колеблется в пределах:

$$9,7 \times 10^{-1} \% \text{ (Миссисипи)} - 5,0 \times 10^{-5} \% \text{ (притоки Волги)}.$$

Для верхней Волги и ее притоков (б. Московская губ.), по С. Озерову (1927), сухая (при 110° высушенная) муть колебалась (1913—1916) в пределах:

$$2,1 \times 10^{-2} - 5,0 \times 10^{-5} \%$$

Для Саратова наибольшее число $3,9 \times 10^{-2} \%$, наименьшее весной в время паводка — $6,2 \times 10^{-5} \%$ (А. Бенинг. 1929).

Эти данные, отнесенные к высушенной мути, т. е. не отвечают ее реальному состоянию в реке. Процессы гидратации (§ 309 сл.), окисления, бактериальные концентрируются в мути. Главная масса органического вещества реки здесь сосредоточена. Во всех этих явлениях объем мути играет большую роль. Он много больше ее веса.

Для трех Туркестанских рек — для Аму-Дарьи, Сыр-Дарьи, Чу — средняя мутность воды по объему равна

$$1,26 \times 10^{-1} - 1,91 \times 10^{-1} \% \text{ (В. Глушков. 1911)}.$$

В отдельных случаях количество мути достигает огромных количеств, например, для Колорадо и Рио Гранде Эль Пас максимальные числа достигают 1,4—1,7%.

Очевидно из этих данных, какую огромную работу производит вода рек, смывая в конце концов континенты и перенося в море огромные количества вещества,¹ и как велика здесь роль жизни. Именно в виде мути, а не в виде растворенных солей, наиболее резко проявляется нивели-

¹ Количество мути превышает в среднем в несколько раз (2—3) количество речной солевой остатка.

рующая роль рек. Она определяет вещевой обмен: суша ↔ океан. Муть и более крупные части взмученной мути приводят к образованию в конце концов горных пород, пластовых вод.

Я вернусь ниже к этим явлениям; здесь же отмечу один факт. Амазонка в год переносит таким путем в океан $6,2 \times 10^{15}$ г вещества суши. (Ф. Катцер). Амазонка еще мало охвачена земледельческой культурой.

612. Уже указанные предельные числа показывают чрезвычайную изменчивость растворенного и микродисперсного химического состава (§ 608) рек.

Это колебание резко выражено для всякой отдельной реки. Река является чрезвычайно чувствительной, равновесной системой, находящейся в непрерывном изменении.

Она вечно меняется, и это изменение различно в каждом месте ее течения, меняется днем и ночью, по временам года, в многолетние периоды.

Все наши представления о составе речной воды являются сложными, и какие-нибудь средние числа могут дать понятие только о каком-то несуществующем теле, около которого меняется природный объект.

Изменение касается всех элементов речной воды: жизни, газов, концентрации раствора, отдельных элементов.

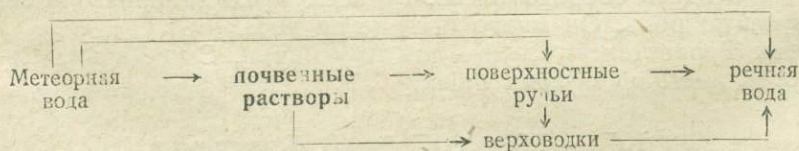
Река в основной массе своей воды является функцией метеорной воды; основа ее состава, вечно меняющаяся, есть дождевая вода. Но затем она питается измененной родниковой водой (верховодкой) и той чрезвычайно важной водой, которая вносится в нее метеорной водой, падающей на сушу, выщелачивающей земную поверхность — почвенным раствором.

Почвенные растворы (§ 672 сл.) бассейна реки определяют основную составную часть солевого состава речной воды.

Связь речной воды с почвенным раствором сложная; она мало выяснена. Влияние почвенного раствора двоякое: 1) он влияет на химическое изменение дождевой воды, через него проходящей и собирающейся в форме ручьев, разных форм стока, дренажа земной поверхности, и 2) он влияет на химический состав верховодки, в непосредственной связи с которой находится речная вода (§ 684 сл.).

Влияние состава верховодки на состав речной воды точно так же мало научно точно выяснено, как и влияние воды почвенной. Повидимому оно более сильно сказывается в отдельных случаях для некоторых рек. Вода верховодки находится в теснейшей связи с водой метеорной и почвенной.

613. Общее равновесие может быть выражено следующей схемой:



Главным механизмом, создающим солевой состав рек, как видно из этой схемы, являются почвенные растворы, главным агентом в создании которых является жизнь.

Очевидно разный характер почвенных растворов должен отражаться на составе речной воды.

Каждый приток воды имеет свой состав.

Несомненно и река и притоки ее всегда разъедают и растворяют свое ложе, но, повидимому, это непосредственное выщелачивание реки имеет менее значения, чем вынос в реку прямо или через ручейки и родники метеорной воды, связанной с водой почвенной.

614. От изменения темпа всех этих процессов — от годового их хода и физико-географического изменения в разных участках речного бассейна, соответственно временно меняется состав речной воды.

Можно отметить несколько явлений из бесчисленного их разнообразия.

В наших широтах меняется концентрация речных вод, сверху замерзающих, так как зимой они лишены значительной части или вполне их метеорологического пополнения (Ю. Рот. 1879) и в то же время, благодаря изменению характера жизни, меняются биохимические условия бытия рек. Меняются и концентрация, и газовый режим, и состав солевого остатка. Это — процесс периодически повторяющийся.

Изменения идут быстро. Так, по А. Альмену (1863), концентрация р. Fyris в Швеции:

21 марта 1867	$2,0 \times 10^{-2} \text{ ‰}$
23 апреля 1867	$1,0 \times 10^{-2} \text{ ‰}$
27 июля 1867	$1,6 \times 10^{-2} \text{ ‰}$
12 декабря 1867	$1,8 \times 10^{-2} \text{ ‰}$

Очень резки колебания для органических веществ, накапливающихся зимою.

Сильно меняется состав рек, протекающих через озера.

Та же самая река во время паводка и в обычное время имеет часто совершенно другой состав, не говоря уже об изменении при этом концентрации.

Эти изменения идут с большой правильностью, в определенные периоды; так, например, в Сыр-Дарье для хлора: в июне — августе его количество равно $1,4 \times 10^{-3} \text{ ‰}$ (плотный остаток в июле $2,2 \times 10^{-2} \text{ ‰}$), в сентябре $4,9 \times 10^{-3} \text{ ‰}$, в октябре $1,4 \times 10^{-3} \text{ ‰}$, в ноябре-декабре $4,1 \times 10^{-3} \text{ ‰}$ (твердый остаток в декабре $4,9 \times 10^{-2} \text{ ‰}$) (В. Киселев, 1910).

Меняется при этом не только концентрация, но и газовый состав, например, в половодье Волги увеличивается количество CO_2 в воде в связи с усиленным окислением органического вещества (В. Радищев. 1926).

Как пример таких сезонных изменений можно привести анализы воды (под руководством В. Киселева. 1913) для Сыр-Дарьи (ст. Запорожская) лета — зимы 1912 — 1913 г.:

Твердый остаток ¹			
Лето		Зима	
$1,7 \times 10^{-2}$		$4,2 \times 10^{-2}$	
Элементы			
O ₂	$1,3 \times 10^{-2}$ ‰	O ₂	$2,0 \times 10^{-2}$ ‰
Ca	$3,6 \times 10^{-3}$	Ca	$9,4 \times 10^{-3}$
C	$2,3 \times 10^{-3}$	S	$6,1 \times 10^{-3}$
S	$1,9 \times 10^{-3}$	C	$4,6 \times 10^{-3}$
Na	$1,5 \times 10^{-3}$	Mg	$3,7 \times 10^{-3}$
Mg	$1,4 \times 10^{-3}$	Na	$3,7 \times 10^{-3}$
K	$1,1 \times 10^{-3}$	K	$1,1 \times 10^{-3}$
Si	$3,7 \times 10^{-4}$	Si	$8,4 \times 10^{-4}$
H	$2,2 \times 10^{-4}$	H	$3,7 \times 10^{-4}$

¹ Плотный осадок колеблется в течение года. Для Сыр-Дарьи он увеличивается с октября по май; потом уменьшается.

² Свободный O_2 , CO_2 , органическое вещество не учтены; SO_4'' до $5,8 \times 10^{-3}$, HCO_3' до $1,1 \times 10^{-2}$.

³ Свободный O_2 , CO_2 , органическое вещество не учтены; SO_4'' до $1,8 \times 10^{-2}$, HCO_3' до $2,3 \times 10^{-2} \text{ ‰}$.

Для сезонных изменений Волги по данным Радищева (1926) выявляются следующие колебания (1924 — 1925):

		Max/Mn
Ca	$7,1 \times 10^{-3} - 2,4 \times 10^{-3} \%$	2,96
HCO ₃ '	$2,1 \times 10^{-2} - 7,3 \times 10^{-3}$	2,94
SO ₄ "	$9,1 \times 10^{-3} - 1,7 \times 10^{-3}$	5,35
Cl	$1,7 \times 10^{-3} - 2,4 \times 10^{-4}$	6,96
Mg	$1,5 \times 10^{-3} - 4,8 \times 10^{-4}$	3,19

Изучение сезонных изменений показывает, что происходит изменение порядка ионов (напр. для SO₄" и HCO₃'); если даже оно связано с разбавлением реки метеорной и другой водой, то это тоже указывает, что приходящие воды другого состава.

Но помимо приноса разных вод идет поглощение составных частей, ионов, в растворе в илу дна или в мути реки. Геохимически роль этой "сорпции", как ее начинают называть, очень велика.

Каждая река имеет свою химическую индивидуальность, точно отражающую сложные химические равновесия ее водного бассейна: его почвенные растворы, его грунтовые воды, его метеорные воды, его поверхностные воды, его живое вещество и их изменения в связи с климатическими колебаниями, а в большие периоды времени — с геологическими изменениями.

Так Аму-Дарья, по данным В. Киселева, имела среднюю концентрацию в 1912 году — $4,3 \times 10^{-2} \%$, в 1913 году $4,7 \times 10^{-2} \%$ (при чем maximum наблюдается в марте — $6,2 \times 10^{-2} \%$, minimum в июле — $2,6 \times 10^{-2} \%$).

Изменение отдельных компонентов в разные года шло различно — так для Аму-Дарьи наблюдались следующие числа средних годовых величин:

	Cl	Ca	S
1911 — 1912	$8,3 \times 10^{-3}$	$6,0 \times 10^{-3}$	$3,4 \times 10^{-3}$
1912 — 1913	$9,0 \times 10^{-3}$	$9,1 \times 10^{-3}$	$3,4 \times 10^{-3}$

Для Чарджуй сезонные числа 1912 — 1913:

Твердый остаток:	$2,6 \times 10^{-2} - 6,2 \times 10^{-2}$
Na	$2,3 \times 10^{-3} - 8,9 \times 10^{-3}$
K	$2,0 \times 10^{-3} - 6,2 \times 10^{-4}$
Ca	$5,1 \times 10^{-3} - 8,9 \times 10^{-3}$
S	$4,4 \times 10^{-3} - 4,4 \times 10^{-4}$

По данным К. Киселева же (1912), отдельные туркестанские реки разно меняют свой состав зимой и летом. Вода реки Чу остается почти неизменной в количественном соотношении компонентов, Сыр-Дарья меняет его сильно. Из элементов наименее меняется калий (см. ниже в главе о геохимии вод) и т. д.

Очень резко колебания проявляются в пустынных и в жарких местностях, где пресные реки могут превращаться в реки рассольные.

Резко меняется режим газов в связи с замерзанием и с изменением температуры. При своем течении река может переходить в области иной химической устойчивости и не сразу к ним приравливается.

Наконец сейчас могучим фактором является культурная деятельность человека. Река, правда, выравнивает это изменение, но в общем ее состав меняется человеком, и в среднем меняются все составные части. Так Темза до Лондона содержит $7,4 \text{ см}^3$ кислорода в литре, после Лондона переходит в подкласс N₂ — CO₂, содержа всего $0,25 \text{ см}^3$, т. е. вместо $1,1 \times 10^{-3} \%$ всего $3,6 \times 10^{-5} \%$.

615. Все же возможны представления о среднем составе речной воды биосферы.

Первая несовершенная попытка была сделана Д. Мерреем (1877), улучшена Ф. Кларком (1908–1924).

И числа Меррея и числа Кларка дают только солевой состав, не принимая во внимание растворенные газы. Кларк не принимает во внимание и растворенные органические вещества.

Кларк считал (1924), что эти числа отвечают довольно хорошо в процентах солевого остатка водам самых больших рек — Амазонки, Миссисипи и Нила. Он думал, что число для SiO_2 может быть слишком велико и что изучение состава вод больших рек Африки и Азии может изменить величины некоторых коэффициентов, но не изменит их порядка.

Есть некоторая аналогия между этим выражением среднего состава речной воды и средней морской воды, но аналогия не очень полная. Для средней морской воды мы действительно наблюдаем ее повсеместное проявление в окружающей природе; около коэффициентов среднего состава колеблется в очень узких пределах реальный состав морской воды, где бы мы его ни изучали. Это выражение реального равновесия в природе. Не то для средних чисел речной воды Меррея — Кларка. К ним приближаются правильно взятые (§ 434) средние числа немногих больших рек. Обычно речная вода — иногда резко и различно в разных случаях — от них отличается.

Таблица Ф. Кларка (в процентах сухого остатка):

	Для рек С. Америки	Для вс. й суши
CO_3	33,40	35,15
Ca	19,36	20,39
SO_4	15,31	12,41
SiO_2	8,60	11,67
Na	7,46	5,79
Cl	7,44	5,68
Mg	4,87	3,41
K	1,77	2,12
NO_3	1,15	0,90
$(\text{FeAl})_2\text{O}_3$	0,64	0,50
	100,00	100,00

616. Эту таблицу можно, отнеся к максимальному и минимальному твердому остатку речных вод (§ 608), выразить иначе, — в коэффициентах, сравнимых с принятым мною элементарным составом пресных вод.

В таком случае мы имеем (maxima — minima, в %):

	Реки С. Америки	Реки суши
O	$4,3 \times 10^{-2} - 5,6 \times 10^{-4}$	$4,5 \times 10^{-2} - 5,9 \times 10^{-4}$
Ca	$1,9 \times 10^{-2} - 2,5 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-2} - 2,7 \times 10^{-4}$
Na	$7,5 \times 10^{-3} - 9,7 \times 10^{-5}$	$5,8 \times 10^{-3} - 7,5 \times 10^{-5}$
Cl	$7,4 \times 10^{-3} - 9,7 \times 10^{-5}$	$5,7 \times 10^{-3} - 7,4 \times 10^{-5}$
C	$6,7 \times 10^{-3} - 8,7 \times 10^{-5}$	$7,0 \times 10^{-3} - 9,1 \times 10^{-5}$
S	$5,1 \times 10^{-3} - 6,6 \times 10^{-5}$	$4,1 \times 10^{-3} - 5,3 \times 10^{-5}$
Mg	$4,9 \times 10^{-3} - 6,3 \times 10^{-5}$	$3,4 \times 10^{-3} - 4,4 \times 10^{-5}$
Si	$4,0 \times 10^{-3} - 5,2 \times 10^{-5}$	$5,5 \times 10^{-3} - 7,2 \times 10^{-5}$
K	$1,8 \times 10^{-3} - 2,3 \times 10^{-5}$	$2,1 \times 10^{-3} - 2,8 \times 10^{-5}$
N	$2,6 \times 10^{-5} - 3,4 \times 10^{-8}$	$2,0 \times 10^{-5} - 2,6 \times 10^{-8}$
Al ¹	$2,3 \times 10^{-5} - 3,0 \times 10^{-8}$	$9,7 \times 10^{-5} - 1,3 \times 10^{-7}$
Fe ¹	$1,5 \times 10^{-6} - 2,0 \times 10^{-8}$	$6,4 \times 10^{-5} - 8,3 \times 10^{-8}$

В этой таблице не приняты во внимание растворенные газы, т. е. O_2 , N_2 и CO_2 (в среднем всегда $n \times 10^{-3} \%$), органические вещества

¹ На основании пределов колебаний (§ 608) отношение для Al/Fe в таблице Ф. Кларка принято 3/1.

(в среднем $10^{0/0}$ твердого остатка — § 609, т. е. 1×10^{-2} — $1,3 \times 10^{-4} \%$) и принят во внимание только связанный азот. Органические вещества увеличивают проценты O, C, H, P, Si, Fe, S.

Приняв их во внимание, мы видим, что коэффициенты для O, C, N не могут спуститься ниже $10^{-3} \%$ в минимуме, и они увеличатся (для minimum'a и maximum'a) еще для H, P, Si, Fe.

В таком случае мы получим приблизительно следующий ряд элементов в убывающем порядке для minimum'a:

O, C, N, Ca, Cl, S, Na, Si, Mg, K, H, Fe, Al

Ярко выступают органогенные элементы O, C, N, Ca.

617. Еще несколько замечаний об этих исчислениях Кларка.

Числа для Северной Америки опираются на огромный материал, и, как заметил Кларк, они довольно близки к среднему составу Миссисипи (с ее притоками), что отвечает и реально значению бассейна этой реки в общей массе речной воды этого континента.

В этих числах мы имеем дело не с единичными отклонениями отдельных анализов, а с числами массовыми, когда вода одной и той же реки исследуется в разное время, в разных местах, в разных ее притоках. Р. Доль (см. § 434) пытался достигнуть для каждой главной реки Северной Америки познания среднего состава ее в течение года.

В тех крайних числах, которые приведены в § 609, мы имеем смешение и единичных анализов и средних анализов.

В общем различия между ними не очень резки, но несомненно одни средние анализы разных рек дали бы нам более узкие интервалы колебаний для средних проб, чем для состава единичных проб.

618. Мы сейчас это не можем сделать с достаточной точностью ни для одной реки (ни для одного речного бассейна). Но некоторые американские реки¹ приближаются к желаемым результатам и могут дать более точное впечатление о колебаниях средних величин их состава. Для самой Миссисипи (без притоков) мы имеем 207 сложных анализов: каждый анализ из этих 207 относится к воде, взятой в 1905—1908 годах и составленной из проб, правильным образом собранных в разные месяцы в течение 10 или 7 дней под ряд. Эти 7- или 10-дневные пробы смешивались и давали один анализ. Вода взята была в 6 пунктах. Работа исполнена в Американском Геологическом Комитете под руководством Ф. Кларка (1843—1931).

Мы имеем (в $\%$):

Твердый остаток $1,6 \times 10^{-2}$ — $2,7 \times 10^{-2}$

O² $1,3 \times 10^{-2}$ — $7,4 \times 10^{-3}$ ср $9,7 \times 10^{-3}$

Ca $5,2 \times 10^{-3}$ — $3,4 \times 10^{-3}$ „ $3,9 \times 10^{-3}$

Na¹ $2,2 \times 10^{-3}$ — $1,0 \times 10^{-3}$ „ $1,4 \times 10^{-3}$

S⁴ $2,0 \times 10^{-3}$ — $6,3 \times 10^{-4}$ „ $1,1 \times 10^{-3}$

C⁵ $1,9 \times 10^{-3}$ — $1,2 \times 10^{-3}$ „ $1,5 \times 10^{-3}$

¹ Аму-Дарья, Сыр-Дарья и некоторые другие реки Туркестана могут точно так же дать эти данные, благодаря прекрасной организации работы, установленной В. Г. Глушковым и исполненной И. Киселевым, о чем я уже упоминал (§ 482). Ее предположенное сейчас, по инициативе В. Г. Глушкова, восстановление представляет большой научный интерес. Необходимо привести в исполнение этот проект столь же научно точно, как это было в 1910—1913, используя накопившийся после того научный опыт. Необходимо поэтому прежде всего определять средний элементарный газовый состав и состав (полный анализ) элементарный органического вещества. Но важно установить и химическую природу растворенных органических веществ. Необходимо количественно уточнить характер связи соединений азота и валентность атомов железа (должно быть есть Fe⁺⁺ и Fe⁺⁺⁺).

² Только кислород ионов.

³ Для одного пункта 35 компл. анализов K $1,5 \times 10^{-3} \%$

⁴ Только иона SO₄^{''}.

⁵ Только иона CO₃^{''}.

Mg	$1,7 \times 10^{-3}$	$- 9,2 \times 10^{-4}$	"	$1,4 \times 10^{-3}$
Cl	$1,1 \times 10^{-3}$	$- 1,6 \times 10^{-4}$	"	$6,5 \times 10^{-4}$
Si ¹	$1,1 \times 10^{-3}$	$- 5,6 \times 10^{-4}$	"	$8,2 \times 10^{-4}$
N ²	$6,9 \times 10^{-5}$	$- 3,0 \times 10^{-5}$	"	$4,4 \times 10^{-5}$
Fe ^{3,4}	$6,0 \times 10^{-5}$	$- 7,0 \times 10^{-6}$	"	$3,4 \times 10^{-5}$

619. Можно заметить среди речных вод два резко различных их вида, значение которых было подчеркнуто Ф. Кларком. С одной стороны — воды рек, протекающих в областях влажных, богатых растительностью, плодородных; и с другой — в местностях более сухих и менее плодородных.

В первых из металлов резко преобладает кальций и ион $\text{CO}_3^{''}$ — кальциево-карбонатные воды, а во вторых — $\text{CO}_3^{''}$ отходит на второй план, кальций не всегда преобладает, выступает ясно натрий.

В Северной Америке это выражено довольно резко: на восток от р. Миссури господствуют CaCO_3 -воды, на запад от р. Миссури, в новой Мексике и Аризоне в речной воде ионы $\text{SO}_4^{''}$ преобладают над $\text{CO}_3^{''}$, и на ряду с Ca выдвигается, иногда преобладает натрий. Первые воды, связанные с совершенно особыми почвенными растворами, с особой почвенной микрофлорой и микрофауной, с богатой наземной растительностью, должны быть более богаты углекислотой, хотя это не может считаться вполне несомненным, ибо и вторые, богатые сульфатными ионами и в то же время ионами кальция и натрия, должны уже химически (может быть, биохимически) поглощать углекислоту. Это должно здесь проявляться особенно резко, так как при малых метеорных осадках и высокой температуре воздуха концентрация воды этих рек увеличивается, и они переходят в малоизученные реки с соленой (§ 787) водой.

Эти два типа речных вод могут быть прослежены на всех континентах. В приполярных и в тропических областях, где жизнь наземная (или жизнь почвы) получает резко особый оттенок по сравнению с промежуточными зонами (§ 629), образуются новые виды речных вод, к которым повидимому обобщение Кларка без поправок применено быть не может. Понимание этих явлений будет достигнуто, когда будут исследованы почвенные растворы зональных почв (§ 671).

620. Одна и та же река может переходить из одной стадии воды в другую.

Так вода реки Cache la Poudre в Колорадо, анализированная Гидде-ном (1903) и изученная Кларком, течет сперва в каньоне из твердых массивных пород и обладает свойствами горной чистой реки (I); выходя оттуда в низменность, она используется для ирригации и попадает в область сухих степей (полупустынь). Здесь ее вода принимает совершенно другой характер (II — вода реки Платт вблизи устья в Cache la Poudre).

(в процентах)

I. Остаток $3,7 \times 10^{-3}$		II. Остаток $1,0 \times 10^{-1}$	
CO_3 $1,3 \times 10^{-3}$	O^5 $1,8 \times 10^{-3}$	SO_4 $5,5 \times 10^{-2}$	O^5 $4,4 \times 10^{-2}$
SiO_2 $8,9 \times 10^{-4}$	Ca $5,6 \times 10^{-4}$	Ca $1,3 \times 10^{-2}$	S $1,9 \times 10^{-2}$
Ca $5,6 \times 10^{-4}$	Si $4,2 \times 10^{-4}$	Na $1,2 \times 10^{-2}$	Ca $1,3 \times 10^{-2}$
Na $4,1 \times 10^{-4}$	Na $4,1 \times 10^{-4}$		Na $1,2 \times 10^{-2}$
SO_4 $3,4 \times 10^{-4}$	C $2,6 \times 10^{-4}$	CO_3 $8,8 \times 10^{-3}$	
		Mg $4,7 \times 10^{-3}$	Mg $4,7 \times 10^{-3}$

¹ Только мицелл SiO_2 .

² Только ионы NO_3 .

³ Только ионы Fe или мицеллы Fe_2O_3 и H_2O .

⁴ Для одного пункта из 52 сложных анализов $4,1 \times 10^{-5} \%$ Al.

⁵ Только ионы $\text{CO}_3^{''}$, $\text{SO}_4^{''}$ и мицеллы SiO_2 .

	Cl	$3,8 \times 10^{-3}$		Cl	$3,8 \times 10^{-3}$
	SiO ₂	$1,3 \times 10^{-3}$		C	$1,7 \times 10^{-3}$
K	$1,6 \times 10^{-4}$		K	$1,6 \times 10^{-4}$	
Cl	$1,5 \times 10^{-4}$		Cl	$1,5 \times 10^{-4}$	
Mg	$1,1 \times 10^{-4}$		S	$1,1 \times 10^{-4}$	
			Mg	$1,1 \times 10^{-4}$	
			K	$4,1 \times 10^{-4}$	
			Si	$6,1 \times 10^{-4}$	
			K	$4,1 \times 10^{-4}$	

Мы видим, как резко отличаются эти две воды. Вода р. Платт почти идентична воде Cache la Poudre ближе к впадению в нее последней.

Сама река Колорадо является ярким примером второго типа Кларка. Для нее имеется среднее из годового наблюдения R. Forbes'a и W. Skinner'a в 1902 году.

Мы имеем здесь (в ‰):

SO ₄	$2,0 \times 10^{-2}$	O	$2,1 \times 10^{-2}$
Cl	$1,4 \times 10^{-2}$	Cl	$1,4 \times 10^{-2}$
Na	$1,4 \times 10^{-2}$	Na	$1,4 \times 10^{-2}$
CO ₃	$9,1 \times 10^{-3}$	Ca	$7,3 \times 10^{-3}$
Ca	$7,3 \times 10^{-3}$	S	$6,6 \times 10^{-3}$
Mg	$2,2 \times 10^{-3}$	Mg	$2,2 \times 10^{-3}$
K	$1,5 \times 10^{-3}$	C	$1,8 \times 10^{-3}$
		K	$1,5 \times 10^{-3}$
SiO ₂	$2,1 \times 10^{-4}$	Si	$9,9 \times 10^{-5}$

В этом анализе не приняты во внимание газы; повысится количество О, С и N (порядка 10^{-3}).

621. Огромное большинство рек дают смеси — в разных пропорциях — этих двух видов речных вод. Эти смеси существуют всегда в природе как таковые, следовательно представляют естественно-историческое явление и поэтому должны быть отличаемы как особая форма — особый вид пресных вод, подобно тому как мы отличаем как особые минеральные виды разные изоморфные смеси, например группы энстатита для метакремневых солей.

Для обычных пресных речных вод необходимо поэтому отличать по крайней мере три разные вида, Ca—CO₃, Ca—Na—SO₄ и их смеси.

В пределах этих рек наблюдаются многочисленные разности, имеющие местный характер в зависимости от геологического и главным образом геохимического характера местности, в которой лежит данный речной бассейн. С этой точки зрения явление мало изучено, но очевидно только идя этим путем, изучая отклонения от среднего, проявление химической индивидуальности реки, можно достигнуть в этой области точного знания крупных успехов. До сих пор попытки были мало удачны. Ф. Кларк указывает, например, на относительное богатство магнием рек около озера Мичигана в области серпентиновых пород. Они содержат однако всего $8,3 \times 10^{-4}$ ‰ Mg — значительно меньше максимальных пределов.

622. Но уже сейчас можно выделить как отдельные виды пресных речных вод, резко связанных с определенными климатическими зонами, два вида этих вод (оба крайне недостаточно изученные).

Это, во-первых, — приполярные реки с светлорубой водой, вполне аналогичные приполярным озерам, и во-вторых — черные реки тропических и подтропических областей.

Для приполярных стран, связанных с тундровыми областями, воды рек отвечают водам озер (§ 644). Для рек полные анализы с учетом органических веществ очень редки.

Следующие данные дают предельные цифры колебаний (в ‰):

Сухой остаток $1,7 \times 10^{-2} - 1,3 \times 10^{-3}$

Элементы	
O ¹	$7,4 \times 10^{-3} - 9,3 \times 10^{-4}$
Ca	$6,0 \times 10^{-3} - 3,8 \times 10^{-5}$
C ²	$3,1 \times 10^{-3} - 2,0 \times 10^{-4}$
N ³	$2,5 \times 10^{-3} - 1,8 \times 10^{-3}$
Cl	$1,5 \times 10^{-3} - 8,2 \times 10^{-5}$
Fe	$1,4 \times 10^{-3} - 7,7 \times 10^{-5}$
Na	$3,9 \times 10^{-4} - 4,3 \times 10^{-5}$
S ⁴	$3,2 \times 10^{-4} - 4,8 \times 10^{-6}$
H ⁵	$3,0 \times 10^{-4} - 1,8 \times 10^{-4}$
Si ⁶	$3,0 \times 10^{-4} - 6,6 \times 10^{-5}$
Mg	$2,1 \times 10^{-4} - 3,4 \times 10^{-6}$
K	$1,8 \times 10^{-4} - 1,4 \times 10^{-5}$
Al	$1,4 \times 10^{-4} - 1,3 \times 10^{-5}$
P	$1,3 \times 10^{-6} - 1,1 \times 10^{-6}$

Органические вещества $4,0 \times 10^{-3} - 7,9 \times 10^{-3}$

Эти числа дают, конечно, очень неполное представление о составе воды этих рек, но все же явно указывают на отличие их воды от воды рек обычных.

623. Характерной их составной частью являются органические вещества, в них растворенные. Они составляют значительную часть их твердого остатка. В среднем для главнейших рек Финляндии они составляют 44,44 ‰ (по О. Аскану, 1908). Вынос в океан органического растворенного материала с континентов, различного в определенных климатических поясах состава, представляет важную повидимому черту механизма биосферы. Мы имеем пояс приполярных рек и пояс подтропических рек, богатых растворенным органическим веществом, уносимым непрерывно с континентов. Для южного приполярного пояса это явление не выражено, так как Антарктика оледенена, а Южная Америка и прилегающие острова теряются в общей массе океана. Выражено это резко для северного, где ярко развиты относительно мелководные моря. Мы опять видим здесь проявление диссимметрии (§ 74 сл.), так как наше северное полушарие в приполярной своей части отвечает континентальному диссимметрическому полушарию: в водное южное полушарие вливаются реки иного состава.

Состав органического вещества бурых приполярных и подтропических рек отличен, и повидимому резко. Он сложен в приполярных реках. Характерно для них преобладание кислых гуминовых (по О. Аскану) соединений, содержащих серу и фосфор. Следующие цифры дают понятие о колебаниях их состава для Финляндских вод, выраженные в процентах на безводное тело. В действительности это, конечно, водные коллоиды. Колебания следующие:

C	50,0	— 54,1	O	38,8	— 47,9
H	3,9	— 5,0	P	0,065	— 0,179
N	1,5	— 2,9			

¹ Главным образом из органич. веществ ($4,0 - 6,5 \times 10^{-3}$ ‰). Растворенный кислород и CO₂ не приняты во внимание, — увеличат коэффициент.

² Главным образом органич. вещества, CO₂ не принята во внимание, — увеличит коэффициент.

³ Органич. вещества. Растворенный азот.

⁴ Главным образом SO₄.

⁵ Главным образом органическое вещество.

⁶ Главным образом SiO₂.

Необходимо изучение органического вещества приполярных рек вне Финляндии и дальнейшее уточнение работы, начатой Асканом.

624. Притропические черные реки мощно развиты в Ю. Америке и в Африке и вливают наибольшее количество богатой органическими веществами воды, главным образом, в океан, в южное полушарие — опять таки в схеме диссимметрии — в континентальной его части (рис. 3, вып. I, стр. 46).

Эти бурые и черные реки несут другое органическое вещество, чем реки севера. Его состав неизвестен с точностью, но оно повидимому богато кремнием и железом. Оно несет в океан и азот, может быть фосфор.

Следующая таблица дает понятие о составе этих рек (в ‰):

Твердый остаток	
$1,3 \times 10^{-3} - 30, \times 10^{-3}$	
Органические вещества	
$7,4 \times 10^{-2} - 10 \times 2,5 \times 10^{-3}$	
Элементы	
O ¹	$9,1 \times 10^{-3} - 1,10^{-3}$
N ²	$2,6 \times 10^{-3} - 1,8 \times 10^{-3}$
Ca	$2,4 \times 10^{-3} - 4,6 \times 10^{-6}$
Si ³	$1,9 \times 10^{-3} - 3,2 \times 10^{-5}$
C ⁴	$2,0 \times 10^{-3} - 1,1 - 10^{-6}$
Na	$1,4 \times 10^{-3} - 1,4 \times 10^{-5}$
Cl	$7,5 \times 10^{-4} - 2,4 \times 10^{-5}$
Fe ⁵	$5,5 \times 10^{-4} - 2,4 \times 10^{-5}$
Mg	$3,1 \times 10^{-4} - 4,3 \times 10^{-5}$
S ⁶	$1,4 \times 10^{-4} - 1,6 \times 10^{-6}$
K	$1,2 \times 10^{-4} - 6,2 \times 10^{-6}$

В этом исчислении не приняты во внимание элементы, несомненно существующие в этих водах — фосфор, алюминий и другие.

Если мы введем с осторожностью поправку в эти числа для органических элементов, основываясь на анализе органических веществ рек Финляндии по работам Аскана;

C	47,0	} ‰ всех органических веществ,
H	4,6	
N	2,25	
O	46,2	

то первые числа состава этих рек будут в максимальном проявлении ($7,1 \times 10^{-3}$ их процента):

O	$1,2 \times 10^{-3} ‰$
C	$7,3 \times 10^{-3} ‰$
N	$5,9 \times 10^{-3} ‰$
Ca	$2,4 \times 10^{-3} ‰$ и т. д.

Вместе с тем в декаде 10^{-4} должен быть введен водород — Н — с $3,3 \times 10^{-4}$; водород займет место между Fe и Mg (если Fe не увеличится от органического вещества).

¹ Не считая кислорода органических веществ. Принят кислород ионов и растворенный газообразный. Кислород попадет в декаду $10^{-2} ‰$ в максимуме.

² Азот органич. вещества не учтен.

³ Кремний органич. вещества не учтен.

⁴ Углерод органич. вещества не учтен. При его учете повысится количество углерода.

⁵ Железо органического вещества не учтено. Очевидно нижняя граница его неверна. Повысится и может быть перейдет в другую декаду и верхнее число.

⁶ В виде иона SO_4 .

Сравнение этих вод—тропических и тундровых—показывает их различие.

Тропические чернобурые воды: O // C. N. Ca. Si. Na //
Тундровые бурые воды: // O. C. //

Я принял во внимание только компоненты порядка 10^{-2} и 10^{-3} ‰. В тундровых водах после углерода (10^{-4} ‰) идут H—Si—Fe—N—Al—Ca; тропических водах после натрия (10^{-4} ‰) идут Cl—Fe—H и т. д.

625. Есть случаи своеобразных рек, дающих особые воды в тех случаях, когда они образуются от смешения поверхностных вод с мощным выходом акротерм и особенно — горячих минеральных источников.

Среди них возможно сейчас отметить реки, содержащие бор. Такова, например, река Firehole в Калифорнии, тесно связанная с оригинальными бор содержащими минеральными источниками и бор содержащими вулканическими парами.

Для нее имеются следующие данные анализа (в ‰):

Нерастворимый остаток $3,9 \times 10^{-2}$

Элементы:

O $1,3 \times 10^{-2}$

Na $9,3 \times 10^{-3}$

Cl $7,4 \times 10^{-3}$

Si $4,6 \times 10^{-3}$

K $1,7 \times 10^{-3}$

C $1,5 \times 10^{-3}$

Ca $6,6 \times 10^{-4}$

S $3,3 \times 10^{-4}$

Al $3,1 \times 10^{-4}$

B $2,0 \times 10^{-4}$

Li $1,1 \times 10^{-4}$

Mg $7,0 \times 10^{-5}$

Fe сл.

626. Есть группа культурных вод, которая должна быть сюда отнесена и которая связана со столь резким и длительным изменением биосферы, что едва ли правильно было бы оставить ее без рассмотрения. Надо помнить, что реки были, повидимому, как раз теми местами, где начались большие цивилизации и где впервые и в большом масштабе начало проявляться геохимическое воздействие человека на природу.

Это ирригационные воды, которые резко меняют природу страны и в странах древних культур несомненно существуют более 5000 лет, может быть больше 8000 лет.

Эти воды отличаются от обычных речных вод по своему химическому составу, так как в них увеличиваются органические вещества и соединения аммония. Характер органического вещества своеобразный; биохимические явления, в этих водах идущие, — тоже.

К сожалению, анализы не дают нам достаточно ясного понятия о составе этих вод, так как ни органическое вещество, ни газовый режим этих вод не изучены.

Воды эти — особенно в условиях сухих жарких местностей, где они развиты — временами или надолго переходят в соленые воды (§ 796).

¹ CO₂ — $7,5 \times 10^{-8}$ ‰, B₄O₇ — $6,8 \times 10^{-4}$, SiO₂ — $9,7 \times 10^{-8}$, Al₂O₃ — $5,9 \times 10^{-4}$ ‰.

Как пример можно привести анализы А. Шмидта вод арыков Ферганы (в ‰):

Твердый остаток $3,1 - 3,3 \times 10^{-2} ‰$

Элементы:

O ¹	$1,7 \times 10^{-2}$
Ca	$6,2 \times 10^{-3} - 1,7 \times 10^{-3}$
C ²	$4,3 \times 10^{-3} - 2,6 \times 10^{-3}$
Si ³	$3,3 \times 10^{-3}$
Mg	$2,0 \times 10^{-3} - 1,2 \times 10^{-3}$
S ⁴	$1,8 \times 10^{-3} - 8,4 \times 10^{-4}$
Na	$1,7 \times 10^{-3} - 1,0 \times 10^{-3}$
Cl	$1,2 \times 10^{-3} - 6,4 \times 10^{-4}$
K	$8,7 \times 10^{-4} - 5,4 \times 10^{-4}$
N ⁵	$2,4 \times 10^{-4}$
H ⁶	$4,1 \times 10^{-6}$

627. Гораздо более разнообразны по составу и относительно недурно изучены воды замкнутых бассейнов — озерные воды.

Пресные озерные воды составляют для них меньшую часть по массе воды, чем пресные воды для рек.

Все озера составляют около 1,8‰ суши, т. е. $26,82 \times 10^6$ км² ее площади. Значительная часть их соленая; самое большое озеро — Каспийское ($4,36 \times 10^5$ км²) — соленое; наибольшее пресное озеро — озеро Верхнее в Сев. Америке имеет площадь всего $8,29 \times 10^4$ км² — а все пять великих пресных озер бассейна р. св. Лаврентия, куда оно входит, не составляют и половины Каспия — $2,45 \times 10^5$ км².

Пресные озера местами скопляются в огромных количествах, занимая значительную часть земной поверхности. Таковы области, геологически недавно покрытые ледниками, — Скандинавия, Финляндия, Карелия, Северная Европейская часть Союза, Западная Сибирь в северной части и т. п. Явления эти связаны с замиранием ледникового периода и меняются с ходом времени (озерный период П. Крапоткин § 495). В Норвегии на $3,29 \times 10^5$ км² известно $2,0 \times 10^5$ озер (K. Ström. 1931).

Пресные озера в огромном большинстве случаев имеют сток.

Такой их характер сближает их с реками в том смысле, что вода в них не вполне задерживается. В реке в каждой точке вода непрерывно течет и материально в каждый момент иная. В проточном озере смена происходит медленно, и, например, для Женевского озера для этого потребно 11,2 лет (Форель).

Как только сток сильно задерживается — создаются условия для превращения пресного озера в соленое или в болото (§ 291).

Вода пресных озер очень близка к воде речной.

Это очевидно связано с тем, что одни и те же воды метеорные и почвенные слагают главным образом и воду речную, и воду озерную.

628. Химический состав озер должен очень сильно отражать их физико-географические условия. Огромное количество озер бессточны и их удобно было бы отличать от озер, имеющих сток. Все естественные пруды бессточны.

Это первое — и основное — явление, которое должно быть принято во внимание.

¹ Не приняты во внимание растворенный кислород, органическое вещество, растворенная СО₂.

² Не приняты во внимание органическое вещество и растворенная СО₂.

³ Из SiO₂. Не принято во внимание органическое вещество.

⁴ Из SO₄. Не приняты во внимание органическое вещество и часть H₂S.

⁵ Из аммиачных соединений. Ни растворенный азот, ни органические вещества не приняты во внимание.

⁶ Из H₂S. Органические вещества и вероятно HCO₃ не приняты во внимание.

Второе — глубина. Огромное большинство озер мелкие; пруды все мелкие, и может быть было бы удобно называть естественными прудами небольшие мелкие озера.

Озера глубокие и большие правильно называть пресными морями. Огромные мелкие озера являются гигантскими постоянными лужами. Они насквозь прогреваются и освещаются, и все биогенные миграции химических элементов идут в них иначе, чем в пресных морях или в более глубоких озерах. Для них почвенные и метеорные воды приобретают особое значение. В сухих и бессточных областях они неустойчивы: переходят в соленые, рассольные воды, наконец в твердые солончаки.

Огромное изменение вносится человеческой культурой: создаются десятки, сотни тысяч „прудов“ — искусственных озер; уничтожается может быть не меньшее число естественных озер.

Химический анализ искусственных прудов, по возможности, не принят во внимание в ниже данных таблицах.

629. Подобно тому, что наблюдается для родниковых и грунтовых вод и для озерной воды, первоисточником является вода метеоров, прямо или косвенно через речную, ручьевую и родниковую, почвенную и верховодку. Уже из этого видно, что озерная вода дальше от своего первоисточника, дождевой воды, чем до сих пор рассмотренные пресные наземные воды.

Уже сильно химически измененная в верховодках и в поверхностных водах дождевая вода, входя в замкнутые бассейны, подвергается дальнейшим изменениям, при чем первостепенное значение имеют в этом изменении живые существа.

От таких обычных озер, вода которых имеет сложное происхождение (из грунтовой — поверхностной — почвенной — метеорной), надо отличать озера, получающие значительную часть воды из более глубоких частей земной коры — из сопок, гейзеров, вулканических извержений. Но и эти озера всегда получают в свой состав метеорные и поверхностные воды, а иногда и верховодки, и эти воды часто играют в конце концов господствующую роль.

630. В озерах обычного типа неизбежно с ходом времени происходит изменение под влиянием взаимоотношения между количеством и составом разных видов вод, в их состав входящих, их испарения и влияния жизни. Эти изменения проявляются резко только в случаях, когда воды озера не имеют стока, т. е. когда вода озера постоянно не возобновляется. Такие области составляют по Де Мартонну и Отреру больше 30% суши.

В связи с явлениями климатическими и тесно с ними связанными явлениями жизни процесс изменения озерных вод идет в двух направлениях.

В областях, богатых влагою, в озерах развивается могучая зеленая растительная жизнь, которая непрерывно захватывает озеро и в конце концов превращает его в болото и в торфяник. Неизбежное при этом увеличение солевых частей, приносимых в озеро метеорными и поверхностными водами, перерабатывается в биогенные минералы и в живые вещества. Явления сорпции меняют состав воды.

Другой процесс идет в сухих и жарких, обычно бедных влагою, местностях. Здесь с ходом времени концентрация воды озера увеличивается, и озерная вода из пресной становится соленой. Жизнь озера меняется, и живое вещество вырабатывает другие соединения. Чрезвычайно характерно, что на суше (и в ее водоемах) существует очень большая амплитуда солености внутренних жидкостей сухопутных растений — от пресных до рассольных включительно (§ 140). Этого нет в морских организмах.

В конце концов озеро становится рассолом, становится самосадочным, выделяет соль. Характер населяющего его живого вещества еще более меняется и в последних стадиях количественно уменьшается. В конце

концов значительная часть воды химически связывается, и озеро превращается в твердое соленое сульфатное или хлористое минеральное отложение.

В первом случае вода переходит в другое семейство того же класса — во втором она переходит в другие класс и группу. Этот переход нередко растягивается на долго, идет в течение геологического времени.

Процесс идет наиболее быстро и полно в озерах, не имеющих впадающих в них и выходящих из них рек.

631. Неизбежное исчезание, геологически временное существование озер, лишенных резко выраженного стока, — делает из них характерные геологически краткотечные виды воды в биосфере.

На эту особенность озерных вод обратил внимание в середине XIX века глубокий и оригинальный натуралист Т. Белът на основании изучения озерной фауны. Он обратил внимание на чрезвычайное сходство фауны пресных озер на всей биосфере и объяснил это явление неустойчивостью озер во времени и в пространстве. Организмы — хотя и уединенные — не успевают (в отличие от островов) выработать новые устойчивые формы. Новые формы организмов появляются для болот и соленых озер.

Помимо указанных в предыдущем параграфе причин действует еще одна, которая касается и озер проточных: озера постоянно мелеют, засыпаются приносимыми впадающими в них реками, ручьями и метеорными водными твердыми телами. Для Боденского озера этим путем закончится процесс через 12500 лет; для Женевского через 45000 лет. Наши географические карты для всех стран света — за немногие сотни лет, указали огромное число таких случаев для всей суши (в целом не сведенных). В Тироле, например, за 100 лет исчезло или превратилось в болота 118 озер.

Новейшие тектонические движения действуют в ту же сторону — кладут конец существованию пресных озер.

Едва ли есть пресные озера древнее середины постплиоцена, т. е. их существование не превышает немногих десятков, сотен тысяч лет.

632. Неподвижный в общем характер воды вызывает и другое явление — своеобразное расслоение озерной воды в вертикальном разрезе на химически различные части. На разных глубинах эти воды получают разный химический характер, который заставляет относить их к разным подклассам, семействам, классам, подцарствам.

Здесь надо различать два разных явления. Одно присуще всем водным бассейнам: морям и океанам, рекам, озерам. Это разделение вод на воды основные для данного семейства, донные и иловые. Иловые воды относятся к другому подцарству (подземным вод), донные обычно относятся к другому подклассу (бескислородному). Лишь в мелких реках и озерах это деление не может быть ясно проведено.

Основная вода бассейна обычно остается в реках и морях одинаковой: в реках, благодаря непрерывному движению воды, при чем донная вода выражена слабо; в морях и в океанах различия более резки, но и здесь огромный размах движений не дает обычно такого химического различия в отдельных слоях основной воды, какое наблюдается наиболее резко и нередко в малоподвижных слоях многих озерных бассейнов. Однако, чем глубже начинают изучать моря и океаны, тем различия слоев основной воды становятся более ясными.¹

633. В озерах бессточных или таких, в которых приток и уход воды не играют большой роли, явления расслоения воды приобретают особое значение.

Здесь мы имеем явления разного типа. Во первых, мы имеем здесь одновременное существование и удерживание в виде динамических равно-

¹ В реках явление не изучено. В придонной воде должно сказываться явление сорбции, напр. иод увеличивается. Может быть здесь, однако, процесс биохимический?

весий вод разных классов, т. е. вод разной концентрации — например вод пресных наверху и соленых внизу. Это явление не очень редко особенно в пределах класса, так например часто наблюдаются воды разной послойной солености. Как пример двух вод — пресной и соленой — можно привести анализы Ф. Буркара вод озера Ритам в кантоне Тичино в Альпах. Здесь мы имеем:

Поверхностная пресная вода		Донная соленая вода на 13 метрах глубины	
Остаток	$1,2 \times 10^{-2} \text{ ‰}$	Остаток	$2,4 \times 10^{-1} \text{ ‰}$
O	$5,7 \times 10^{-3}$	O	$1,2 \times 10^{-1}$
Ca	$2,7 \times 10^{-3}$	Ca	$5,3 \times 10^{-2}$
S	$1,9 \times 10^{-3}$	S	$5,6 \times 10^{-2}$
Mg	$6,6 \times 10^{-4}$	Mg	$1,2 \times 10^{-2}$
C	$4,8 \times 10^{-4}$	C	$1,1 \times 10^{-3}$
K	$2,0 \times 10^{-4}$	K	$3,6 \times 10^{-4}$
Na	$1,4 \times 10^{-4}$	Na	$2,2 \times 10^{-4}$
Si	$1,3 \times 10^{-4}$	Si	$4,8 \times 10^{-5}$

Разнообразные явления этого рода мы будем встречать и позже — например Могильное озеро (§ 804) и т. п.

Еще обычнее разная концентрация газов, т. е. переход вод из одного подкласса в другой.

634. Очень часто не отличают озерную пресную воду от пресной речной воды. И действительно, как легко видеть, сравнивая их элементарный состав, средний валовой (§ 635, 609), они почти идентичны.

Но этот валовой элементарный состав далеко не дает полного точного понятия о динамической химической системе, какую представляет природная вода. Это уже видно из указаний в предыдущих параграфах.

Необходимо поэтому отделять речную воду от воды озерной, но нельзя упускать из виду многочисленных проявлений сходства между ними и даже генетических взаимоотношений.

Сходство проявляется довольно глубоко; так наблюдается параллелизм в химических разностях вод.

Мы увидим этот параллелизм в том, что существуют озерные и речные разности тех же вод — серных (§ 664), черных и бурых (§ 622, 650) и т. д.

Генетическая связь выражается в ряде геологических процессов.

Между речной и озерной водой есть совершенно закономерные переходы, имеющие место в связи с большими геологическими процессами, связанными с историей поверхностных вод. Еще геологически недавно, в связи с ходом явлений, сопровождавших замирание ледниковых покровов, существовали своеобразные образования мелких подводных широких речных бассейнов, имевших многие характерные черты озер (очень яркое и широкое значение этих вод подчеркнуто недавно Б. Личковым; идея, кажется впервые высказана П. Кропоткиным). Эти воды сейчас замирают. Химически они не изучены, но очевидно своеобразны. Я коснусь их во второй части.

Но и помимо этого есть более общие явления, меняющие режим рек и связывающие его с озерами. Таковы тектонические, закономерно связанные с общей эволюцией планеты, движения речных бассейнов.

Это, например, такие поднятия площадей речных бассейнов, которые делают их бессточными, прекращают их связь с той земной впадиной, с которой они были связаны. Изменяется уровень эрозии. Осолоняясь, реки в этом случае в конце концов переходят в систему озер, и их вода получает характер озерной воды.

Дело будущего связать эти геологические изменения с изменениями геохимическими и с закономерным превращением одного вида природных вод в другой.

635. Наши сведения о химическом составе пресных озерных вод могут быть выражены следующими числами:

Пресная озерная вода

Остаток от выпаривания: $1,0 \times 10^{-1} \%$ — до $6,0 \times 10^{-5} \%$.¹

Электропроводность² 90×10^{-6} — 6×10^{-6} (Норвегия. По Ström 1931).

Элементы (за исключением молекул воды)³

O ⁴	$6,3 \times 10^{-2}$ — $1,0 \times 10^{-3}$
Na	$3,5 \times 10^{-2}$ — $5,2 \times 10^{-5} \%$
Cl	$3,0 \times 10^{-2}$ — $1,1 \times 10^{-6}$
C ⁵	$1,1 \times 10^{-2}$ — $4,8 \times 10^{-4}$
Ca ⁶	$9,7 \times 10^{-3}$ — $5,5 \times 10^{-6}$
Mg ⁷	$6,6 \times 10^{-3}$ — $1,9 \times 10^{-6}$
S ⁸	$6,4 \times 10^{-3}$ — $3,3 \times 10^{-7} (0^9)$
K	$6,1 \times 10^{-3}$ — $3,8 \times 10^{-7}$
Si	$5,2 \times 10^{-3}$ — $3,6 \times 10^{-6}$
Fe ¹⁰	$4,9 \times 10^{-3}$ — $4,0 \times 10^{-7}$
N ¹⁰	$3,2 \times 10^{-3}$ — $1,8 \times 10^{-3}$

¹ Бросается в глаза исключительная чистота некоторых озерных вод (ср. например дождевую воду). Ясен переход в соответственные соленые воды ($> 1,10 \times 10^{-1} \%$).

² Обычно $20-40 \times 10^{-6}$. Электропроводность 1×10^{-6} равна содержанию в литре 6×10^{-1} мг, т. е. $6 \times 10^{-5} \%$ остатка.

³ Включены и некоторые „пруды“, которые едва ли заметно отразятся на этих числах.

⁴ В этих числах не принято во внимание количество кислорода в органическом веществе и в углекислоте, что не изменит порядка кислорода. В ионах SO_4^{2-} (до $1,9 \times 10^{-2} \%$), CO_3^{2-} (до $5,3 \times 10^{-2} \%$), в более малом количестве в ионах NO_3^- , в мицеллах SiO_2 (до $1,1 \times 10^{-2} \%$) и м. б. в окисях Fe и Al. Растворенный кислород в мелких озерах и особенно в прудах, богатых зеленой жизнью, дает в солнечные дни пересыщенные растворы, давая до $3,6 \times 10^{-3} \%$ (вместо $1,1 \times 10^{-3} \%$ по Н. Metring 1907). Падает до $3,2 \times 10^{-5} \%$.

⁵ Главную массу углерода составляет CO_2 , количество которой всегда порядка $10^{-3} \%$; количество углерода в органических соединениях и в ионах CO_3^{2-} обычно гораздо меньше; не считая растворенной CO_2 , минимум углерода может доходить до $10^{-7} \%$ ($5,6 \times 10^{-7} \%$). Нельзя, однако, не отметить, что этот минимум возбуждает сомнения, ибо органические вещества в озерных водах очень часто пропускаются в анализ. Живое вещество не принято во внимание. В обычных озерах учет растворенного органического вещества не изменит пределов порядка. По определению Пикоп (1932) естественный пруд в лесу Рамбуле дает углерода $3,9 \times 10^{-4}$ — $8,3 \times 10^{-4} \%$; многие озера еще более богаты таким углеродом.

⁶ Есть озера, в которых $\%$ Ca переходит в декаду 10^{-2} ; до $2,2 \times 10^{-2} \%$?

⁷ Есть озера, в которых $\%$ Mg переходит в декаду 10^{-2} ; до $1,7 \times 10^{-2} \%$?

⁸ Может быть серы бывает еще меньше. В некоторых анализах указываются „следы“ иона SO_4^{2-} . Не принята во внимание сера органических веществ и H_2S , что не изменит порядка ее нахождения. М. б. есть озера с $10^{-2} \%$ S.

⁹ Al и Fe могут быть не только в ионах Fe^{2+} и Al^{3+} , но и в форме мицелл — гидратов окисей (?).

¹⁰ Главным образом растворенный газообразный азот. Количество иона NO_3^- до $2 \times 10^{-4} \%$, NH_4^+ до $4,1 \times 10^{-5}$, в органических веществах количества порядка $10^{-4} \%$, может быть больше. Планктон (Озеро Пестово) по А. Лебединцеву (1905) до $8,0 \times 10^{-6} \%$ N. В норвежских озерах (Holsfjord и Steinfjord) N организмов $1,1 \times 10^{-5} \%$ — $4,5 \times 10^{-6} \%$ (K. Ström 1931). Для Селигера (и ближайших озер) по С. А. Озерову (1927), весь связанный азот $4,3 \times 10^{-5}$ до $1,2 \times 10^{-5} \%$, в том числе нитратного азота $1,2 \times 10^{-5}$ до $7,0 \times 10^{-6}$, нитритного азота от 0 до $1,0 \times 10^{-7} \%$, аммонийного азота $1,0 \times 10^{-5}$ до $7,0 \times 10^{-2}$, белкового азота от $2,4 \times 10^{-5}$ до $4,5 \times 10^{-6}$. Это не максимальные количества. Так количество белкового азота доходит до 10^{-4} (оз. Великое в Рязанской губ., по А. Киреевой. 1926) — $1,7 \times 10^{-4}$, нитритного до $1 \times 10^{-5} \%$ NO_2 (оз. Белое). Азот изучен еще более подробно и тща-

H⁺ $2,5 \times 10^{-4}$ — $9,0 \times 10^{-6}$
 Al $2,3 \times 10^{-4}$ — $2,7 \times 10^{-6}$
 Si $1,5 \times 10^{-4}$ — сл. ?

P² $9,9 \times 10^{-5}$ — $1,8 \times 10^{-7}$ (сл.)
 Mn $1,0 \times 10^{-5}$ — $4,1 \times 10^{-6}$ (Q)

Ti³ $6,3 \times 10^{-6}$ — сл. ?
 Rb $5,4 \times 10^{-6}$ — сл. ?
 Li $4,6 \times 10^{-6}$ — ?

J $4,0 \times 10^{-7}$ ‰ — $1,0 \times 10^{-7}$ (и меньше)

Есть В, Ra, Rn, Th.

Орган. вещ.⁴ $2,2 \times 10^{-2}$ — $5,7 \times 10^{-3}$

Планктон⁵ до $5,3 \times 10^{-4}$

Органич. муть⁶ $2,5 \times 10^{-3}$ — $4,8 \times 10^{-4}$

Неорган. муть⁶ $1,4 \times 10^{-3}$ — $2,4 \times 10^{-4}$

Для P_n колебание от 6,0—8,5, т. е. для $H^+ \dots 1 \times 10^{-6}$ — 5×10^{-8} ‰.

Эти ничтожные числа имеют большое значение для различения озерных пресных вод и, как увидим ниже, колеблются даже в пределах развития разных почв. Эта величина P_n связана в значительной мере с равновесием между растворенной CO_2 и углекислыми солями (ср. § 242), при чем воды, содержащие углекислые соли, имеют P_n бо́льшую, чем 7,07. Для прудов Южно-Европейской части Союза колебания этой величины 7,55—8,15, для прудов на почвах темнокаштановых (переходящих в южный чернозем—16 прудов)—8,00—8,05, для прудов среди луговых почв (2 пруда) 7,55—7,60 (Н. Веселовский. 1928).

636. Химический валовой состав озер дает все же лишь очень суммарное впечатление. При таком способе выражения исчезают от нашего внимания многочисленные виды, подвиды, разности озерных пресных вод, существование которых—обособление в природе в особых бассейнах—неизбежно и закономерно.

О некоторых из них можно и нужно уже сейчас сказать несколько слов.

Прежде всего возможно и необходимо различать пресные озера, лежащие в химически резко различных горных породах, т. к. очевидно, что на озерах более резко, чем на реках, отражается химия их бассейна, откуда реки и ручьи приносят им растворы и поскольку они, оставаясь на месте, разъедают и растворяют окружающие породы.

только для оз. Мендозы в Висконсине Джемсом и его сотрудниками. Здесь (1925) различено до 12 разных форм азота при общем количестве порядка 5×10^{-5} ‰. Об этом см. ниже в главе о геохимии природных вод.

¹ Ионы H^+ и HO^+ не приняты во внимание, но это не влияет на порядок нахождения водорода. Находится в виде ионов NH_4 , в органических веществах.

² В виде ионов $PO_4^{'''}$.

³ Характер нахождения неясен.

⁴ К сожалению, органическое вещество пресных озер не изучено. Все указывает, что здесь наблюдаются очень различные по составу вещества и будут выделены разные воды. Это одна из ближайших задач. „Пруды“ и озера среди богатых жизнью равнин имеют особые органические вещества. Огромное число имеющихся определений по окисляемости не было мною использовано. Необходимы прямые определения, и едва ли правильно тратить время и труд на такие неточные и непонятные числа, какими является так называемая окисляемость.

⁵ Озеро Пестово, по А. Лебединцеву (1905). Считается сухой. Живой планктон дает больше $1,10^{-3}$ ‰. Псковское озеро очень богато планктоном (Н. Самсонов. 1914).

⁶ Для Рязанских озер (1926), по А. Киреевой.

Влияние горных пород сложное — оно сказывается главным образом постольку, поскольку горные породы влияют на состав почв (их вод), рек, родников и верховодок.

Очевидно, его можно учесть в большинстве случаев лишь в неполной степени.

Жизнь самих озер и вод, которые в них вливаются, влияет не менее сильно.

637. Сейчас можно лишь утверждать существование разных видов озерных пресных вод, но выделить все их нельзя. Можно выделить лишь некоторые, при чем приемы разделения пока не объединены логически, произвольно эмпиричны.

Можно указать на существование разных вод по величине P_n и по составу ионных компонентов.

Очень ярко разделяются пресные озера по P_n . С. Скадовский (1923) — на основании изучения пресных озерных вод Центральной (Московской) — выделяет главную массу озер с нейтральной водой, где $P_n = 6,9 - 7,3$. Другой тип вод — щелочные воды с реакцией P_n ок. 8,0 (старицы долины р. Москвы). Для средней Германии очень обычны воды с $P_n = 6,0 - 6,8$ — слабо кислые (Тинеманн. 1925). Кислые воды отвечают болотам (§ 658). Слабо кислые воды озер Германии бедны кальцием и иногда одновременно богаты гумусом.

638. По ионным компонентам можно выявить несколько разных озер. Следует отметить следующие:¹

- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| 1. O — Ca — C. | 5. Na — Cl. |
| 2. O — Ca — C — S. | 6. O — Mg — C. |
| 3. Cl — O — Na — S. | 7. O — Mg — Na — S — C? |
| 4. O — Ca — Na — S — Cl. | 8. O — Na — C — Cl. |

639. К виду O — C — Ca относятся и самые большие пресные моря: самое большое по площади — Верхнее озеро в Северной Америке и самое глубокое — Байкальское море в Сибири.² Химический состав этой воды виден из следующих анализов Р. Доля и М. Робертса (1909) для Верхнего озера (I)³ и А. Франк-Каменецкого (1926) и сотрудников Байкальской станции Академии Наук (1928—1930) для Байкала (II)⁴ (в ‰).

I.	II.
Твердый остаток $6,0 \times 10^{-3}$	$4,3 \times 10^{-3} - 8,3 \times 10^{-3}$
Элементы:	
O ⁵ $4,9 \times 10^{-3}$	O ⁶ $9,5 \times 10^{-3} - 4,6 \times 10^{-3}$
Ca $1,3 \times 10^{-3}$	Ca $2,1 \times 10^{-3} - 9,3 \times 10^{-4}$

¹ Пресные озерные воды лимнологов (Э. Нейманн, А. Тинеманн. 1925) могут войти в эти виды, которые представляют более дробное деление, чем то биологическое — физико-географическое, — какое ими дается. № 2, 3, 5 относятся к эвтрофному типу. № 1 и, должно быть, № 2 — к олиготрофному. Дистрофный тип относится к бурым озерным водам.

² По Гальбфассу, Байкал по весу воды равен Балтийскому морю, хотя его площадь в 12 раз меньше.

³ Среднее из 11 анализов. Газы — O₂, CO₂ и N₂ не приняты во внимание. Если их принять, увеличится N (до $p \times 10^{-3} \text{‰}$), C, может быть, увеличится до $1,5 \times 10^{-3} \text{‰}$, O — до $8,0 \times 10^{-3} \text{‰}$.

⁴ 7 анализов. Приняты во внимание измерения Г. Верещагина, С. Кузнецовой, А. Щербаковой — в том числе газы CO₂ и O₂. Азот (N₂) не учтен — до $p \times 10^{-3} \text{‰}$. Максимум углекислоты на 25 м — $5,9 \times 10^{-1} \text{‰}$.

⁵ Ионы HCO₃⁵ ($5,6 \times 10^{-3} \text{‰}$), SO₄⁶ ($2,1 \times 10^{-4}$), NO₃³ ($5,0 \times 10^{-1} \text{‰}$), SiO₂ (до $7,4 \times 10^{-4} \text{‰}$).

⁶ Растворенный кислород $1,7 \times 10^{-3} \text{‰}$ (до 147% насыщения), ионы HCO₂ (до $8,7 \times 10^{-3} \text{‰}$), SO₄⁴ (до $5,4 \times 10^{-4} \text{‰}$), SiO₂ (до $3,7 \times 10^{-1} \text{‰}$), CO₂ (до $5,6 \times 10^{-4} \text{‰}$).

C^1 $1,1 \times 10^{-3}$
 Si^2 $3,5 \times 10^{-4}$
 Na^3 $3,2 \times 10^{-4}$
 Mg $3,1 \times 10^{-4}$
 Sr $1,4 \times 10^{-4}$
 Cl $1,1 \times 10^{-4}$

H^7 $3,3 \times 10^{-5}$
 S^4 $7,0 \times 10^{-5}$
 N^6 $3,4 \times 10^{-5}$

Fe $6,0 \times 10^{-6}$

Есть В.

C^1 $1,9 \times 10^{-3} - 7,1 \times 10^{-4}$
 Si^2 $4,3 \times 10^{-4} - 4,7 \times 10^{-5}$
 Na $4,5 \times 10^{-4} - 3,5 \times 10^{-4}$
 Mg $5,0 \times 10^{-4} - 1,3 \times 10^{-4}$
 Cl $3,5 \times 10^{-4} - 1,2 \times 10^{-4}$

H^5 $1,1 \times 10^{-4} - 6,8 \times 10^{-5}$
 S^4 $2,1 \times 10^{-4} - 1,4 \times 10^{-4}$
 K $2,0 \times 10^{-4} - 1,4 \times 10^{-4}$
 Al $1,9 \times 10^{-4} - \text{сл.}$

Fe $4,2 \times 10^{-6} - 0$

P_n 76, — 8,35(8)

Колебания состава этих вод лежат в пределах, приведенных в § 635, но конечные числа для большинства элементов не доходят до конечных пределов пресной озерной воды.

То же самое наблюдается и для вод, в которых преобладают Na, Cl и S, указанных выше.

640. Пресные озера состава O—Ca—S—C очень развиты в областях развития пород богатых кальцием (например, на Алтае).

Состав их виден из следующих чисел анализов (в ‰):

O—Ca—C—S

Твердый остаток: $3,1 \times 10^{-2} - 2,7 \times 10^{-3}$

Элементы:

O^9 $1,9 \times 10^{-2} - 9,1 \times 10^{-4}$
 Ca $8,0 \times 10^{-3} - 5,2 \times 10^{-4}$
 C^{10} $3,0 \times 10^{-3} - 1,6 \times 10^{-4}$
 Si^{11} $4,4 \times 10^{-3} - 1,1 \times 10^{-4}$
 Mg $1,9 \times 10^{-3} - 3,6 \times 10^{-5}$
 Na $1,8 \times 10^{-3} - 5,2 \times 10^{-5}$
 Cl $1,2 \times 10^{-3} - 4,0 \times 10^{-5}$
 K $4,7 \times 10^{-4} - 3,8 \times 10^{-5}$
 Si $4,7 \times 10^{-4} - 1,4 \times 10^{-5}$
 Al $1,8 \times 10^{-4} - 5,2 \times 10^{-5}$
 Fe $6,3 \times 10^{-5} - 6,4 \times 10^{-6}$
 Ti $6,3 \times 10^{-6}$
 P $1,6 \times 10^{-6}$

¹ Ионы HCO'_3 . Для Байкала CO_2 .

² SiO_2 .

³ Содержит и калий.

⁴ Ионы SO''_4 .

⁵ Из HCO'_3 .

⁶ Из NO_3 , белков. NH_3 ($1,2 \times 10^{-5}$), NH_4 (6×10^{-6}).

⁷ Из HNO'_3 , NH_3 , NH_4^+ .

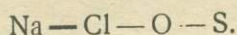
⁸ Поверхностная вода Байкала нормально $P_n = 8$. На глубинах 25—100 м = 7,6. (С. Кузнецов и А. Щербакова. 1930).

⁹ O_2 , CO_2 и органические вещества не учтены. Из CO_3 (до $1,5 \times 10^{-2}‰$), SO''_4 $4,9 \times 10^{-3}‰$, SiO_2 (до $5,0 \times 10^{-4}$).

¹⁰ Из CO''_3 .

¹¹ Из SO''_4 .

641. Вид воды озер $O - Ca - S - C$ иногда генетически близок (например, оз. Ута — § 134 — при его осолонении) к виду $Na - Cl - O - S$, что видно из анализа оз. Ута (в 1899 году, ан. Ф. Камерона в ‰):



Сухой остаток $8,9 \times 10^{-2}$

Элементы:

$$Cl \quad 3,2 \times 10^{-2}$$

$$Na \quad 2,3 \times 10^{-2}$$

$$O^1 \quad 1,7 \times 10^{-2}$$

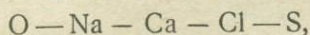
$$S \quad 7,5 \times 10^{-3}$$

$$Ca \quad 6,8 \times 10^{-3}$$

$$Mg \quad 1,4 \times 10^{-3}$$

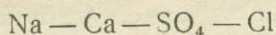
$$C \quad 4,8 \times 10^{-4}$$

642. Совершенно другой состав пресных озер среди вулканических пород, например, Эйфеля. Их состав выражается



но Mg и K находятся в очень заметном количестве.

Состав виден из следующих чисел (в ‰):



Твердый остаток: $3,8 \times 10^{-2} - 4,2 \times 10^{-30/0}$

Элементы:

$$Ca \quad 4,6 \times 10^{-3} - 1,8 \times 10^{-4}$$

$$Na \quad 4,6 \times 10^{-3} - 2,4 \times 10^{-4}$$

$$Mg \quad 3,1 \times 10^{-3} - 2,2 \times 10^{-4}$$

$$K \quad 2,6 \times 10^{-3} - 1,0 \times 10^{-3}$$

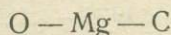
$$Cl \quad 2,4 \times 10^{-3} - 5,3 \times 10^{-4}$$

$$O^2 \quad 1,5 \times 10^{-3} - 4,1 \times 10^{-4}$$

$$Si \quad 6,6 \times 10^{-4} - 1,2 \times 10^{-4}$$

$$S^3 \quad 3,8 \times 10^{-4} - 1,4 \times 10^{-4}$$

643. Как пример — относительно редкого вида — магниевых озер — $Mg - O - C$ — можно привести анализ В. Булкина воды Большого Алматинского озера (1929) в ‰:



Твердый остаток: $1,1 \times 10^{-20/0}$

Элементы:

$$O^4 \quad 5,8 \times 10^{-3}$$

$$Mg \quad 1,4 \times 10^{-3}$$

$$C^5 \quad 1,2 \times 10^{-3}$$

$$Na \quad 5,4 \times 10^{-4}$$

¹ Из SO_4 ($1,3 \times 10^{-2}$), CO_3 ($2,4 \times 10^{-3}$). O_2 не учтен.

² O_2 , CO_2 , органич. вещества не учтены. Из SO_4 (до $1,1 \times 10^{-3}$), SiO_2 (до $1,4 \times 10^{-3}$).

³ Из SO_4 .

⁴ Из HCO_3 (до $6,2 \times 10^{-30/0}$), SO_4 (до $1,0 \times 10^{-30/0}$). Не учтен O_2 , CO_2 , органич. вещества.

⁵ Из HCO_3 . Не учтены CO_2 , органич. вещество.

Ca	$4,2 \times 10^{-4}$
Cl	$3,8 \times 10^{-4}$
S ¹	$3,4 \times 10^{-4}$
Si	$3,0 \times 10^{-4}$
K	$3,2 \times 10^{-4}$
Fe	$1,4 \times 10^{-4}$
H ²	$1,2 \times 10^{-4}$
Al	$6,0 \times 10^{-5}$

644. Озера типа O — Na — Cl — C повидимому связаны с сухими и теплыми областями, например, оз. Goose (Гусиное) в Сакраменто в Калифорнии. Это уже переход к соленым озерам (ср. § 633), где аналогичный класс озер распространен.

O — Na — Cl — C

Сухой остаток $1,0 \times 10^{-10}\%$

Элементы (в ‰)

O ³	$3,9 \times 10^{-2}$
Na	$3,5 \times 10^{-2}$
Cl	$1,0 \times 10^{-2}$

C	$8,2 \times 10^{-3}$
K	$3,4 \times 10^{-3}$
Si	$2,4 \times 10^{-3}$
Ca	$1,8 \times 10^{-3}$
S	$1,5 \times 10^{-3}$

Mg $2,0 \times 10^{-4}$

N ⁵	$3,5 \times 10^{-5}$
P	$3,3 \times 10^{-5}$
Fe	$2,1 \times 10^{-6}$

645. В озерах гораздо больше, чем в реках, отличаются по своему составу донные озерные воды. Благодаря замкнутости бассейна и относительной неподвижности их вод, процессы химического расслоения выражены в озерах чрезвычайно резко. Мы уже видели (§ 632), что это явление приводит временами к образованию соленых вод в придонном слое озера.

К сожалению, в общей форме придонные воды пресных озер не подвергались достаточно точному исследованию. К сожалению их полных анализов нет. Особенно отсутствие таких анализов донных вод мешает научной работе в изучении сапропелевых озер (§ 645).

¹ Из SO₄²⁻. Органич. вещество не учтено.

² Из HCO₃⁻. Органич. вещество не учтено.

³ Из CO₃²⁻ ($4,1 \times 10^{-20}\%$), SO₄²⁻ ($4,5 \times 10^{-3}$), NO₃⁻ ($1,5 \times 10^{-4}$), PO₄³⁻ ($1,1 \times 10^{-4}$), SiO₂ ($4,9 \times 10^{-30}\%$). CO₂, O₂ и органич. вещество не учтены.

⁴ Из CO₃²⁻, CO₂ и органич. вещество не учтены.

⁵ Очевидно, азот попадет в декаду 10^{-3} , так как в озере всегда растворен атмосферный азот.

Несомненно, эти воды составляют переход в воды иловые (§ 680). В них увеличивается ион SO_4^{2-} , так, по С. А. Озерову, в поверхностной воде Переяславского озера его количество примерно $2,9 \times 10^{-4}\%$, в донной воде того же озера оно достигает $1,4 \times 10^{-3}\%$.

Для кремния данные В. Рылова для озер нашей страны и С. Йошимуры (S. Yoshimura) для Японии дают разные указания. Последний допускает увеличения кремния в донной воде.

Сильно концентрируются азотные соединения; так для того же Переяславского озера, по С. А. Озерову, за 1919--1920 мы имеем (в $\%$):

Весь связанный N	$4,9 \times 10^{-2}$ — $1,3 \times 10^{-1}$ (ср. $7,8 \times 10^{-2}$)
N аммиачный	$3,7 \times 10^{-3}$ — $2,3 \times 10^{-2}$ („ $1,4 \times 10^{-2}$)
„ белковый	$1,2 \times 10^{-2}$ — $3,5 \times 10^{-2}$ („ $2,0 \times 10^{-2}$)
„ азотистокисл.	$1,0 \times 10^{-4}$ — $8,0 \times 10^{-4}$ („ $4,0 \times 10^{-4}$)
„ азотнокислый	$6,7 \times 10^{-3}$ — $1,0 \times 10^{-1}$ („ $4,8 \times 10^{-2}$)

Количество азота во всех его формах увеличивается с глубиной в донной воде: при переходе в воду иловую уменьшаются и сходят на нет кислородные его разности (ионы), но увеличение общего азота сколько можно судить продолжается. Вопрос требует изучения.

646. К сожалению, изучение химического состава донных вод для пресных озер оставлено без внимания, и сейчас мы не можем иметь о нем вполне точного представления.

Лучше наши сведения об изменении газового режима озерных вод с глубиной. Донная вода выявляется по своему газовому режиму довольно резко. Она временами принадлежит к другим подклассам.

Конечно, состав озер в вертикальном разрезе и отличие его глубоких частей меняются как вследствие физико-географических условий (глубины, замерзания сверху зимою и т. п.), так особенно благодаря жизнедеятельности организмов.

Это последнее явление — основной фактор газового режима, создающий из окружающей среды свободный кислород, углекислоту, иногда азот, сероводород и метан.

В озерах замерзающих, как озера нашего климата, состав воды зимою, подо льдом, и летом резко иной, особенно если дело идет об озерах неглубоких.

Здесь в составе и характере пресных озер резко сказываются географические условия — геохоры (§ 561). Достаточно обратить внимание на озёрные области — на сапропелевые озера, например.

По отношению к газам дело идет прежде всего о потере кислорода. Вода озера из среды окислительной становится средой восстановительной. Вся химия воды — и биохимические процессы в частности — резко меняются.

Кислород поглощается грязью озера — при чем состав воды иловой всегда иной, чем состав озерных вод, обычной и донной. Для него устойчивой является восстановительная среда.

Этот, теперь самоочевидный, не возбуждающий сомнений, факт был, кажется, впервые установлен в 1837 году в Казани К. Клаусом. Позже начались работы в Западной Европе. Успехи лимнологии и гидробиологии его установили с несомненностью.

Это поглощение растворенного кислорода грязью дна стоячей воды, озерной воды — несомненно в конце концов явление большого химического значения — является в основе процессом физическим. Газовая среда иловой воды не содержит свободного кислорода и его не создает; вследствие разности парциального давления кислород верхних слоев воды не-

избежно должен уходить в озерной воде вниз в иловую атмосферу. Если озеро замерзает, т. е. теряет сообщение с тропосферой, весь кислород может из него уйти.

Для донной воды наблюдается всегда иное содержание кислорода, углекислоты, органических веществ, и эти воды часто принадлежат к подклассам $N_2 - CO_2$, $N_2 - CO_2 - CH_4$ и $N_2 - CO_2 - H_2S$. Едва ли было бы правильно определять границу донной воды (верхнюю) по отсутствию кислорода, так как это признак очень меняющийся. Для оз. Белого (Мещовская низм. б. Рязанская губ.), по Л. Россолимо (1928), например, летом над илом определенного характера вода лишена кислорода до высоты 2 метра от дна, а в других местах он есть. Но в общем, в среднем, вода донная только бедна кислородом и легко его теряет.

647. Обращаясь к свободному кислороду, мы наблюдаем обогащение им в областях развития фитопланктона и зеленой растительности. Здесь временами получается пересыщение кислородом, т. е. его содержание в воде большее, чем его растворение в воде. Как указано (§ 220), это название едва ли правильно: мы имеем дело здесь с тончайшей эмульсией свободного кислорода.

Несколько примеров могут дать понятие об этом явлении.

Так, по А. Лебединцеву, придонная вода озера Пестова в б. Новгородской губ. содержала (1905) $3,6 \times 10^{-5}\%$ O_2 , тогда как вода поверхностная содержала $8,1 \times 10^{-4}\%$. Но это количество колеблется по временам года, и та же донная вода того же озера может содержать в другое время нормальное количество кислорода (для Пестова оз. до $1,3 \times 10^{-3}\%$, по Лебединцеву). Для Переяславского оз. (1923, Август) весовое содержание кислорода составляло (по С. А. Озерову) в придонной воде $2,2 \times 10^{-4} - 1,0 \times 10^{-4}\%$, тогда как на поверхности и глубже, до начала донной воды (выше температурного скачка) $1,1 - 1,2 \times 10^{-3}\%$.

На оз. Глубоком б. Московск. губ. Воронков (1913) нашел летом кислородный минимум на глубине около 8 м: то же явление было подтверждено С. Кузнецовым и Дупляковым (1921—1924). Причина неясная — ее ищут в биохимических явлениях, но гораздо проще и ближе к реальности видеть ее в равновесии, установившемся между разным характером газовых атмосфер — верхней озерной, заключающей O_2 , и иловой озерной, его лишенной.

Для 1921 наблюдались следующие количества O_2 (в $\%$):

на поверхности	$9,0 \times 10^{-4}$
на глубине 8 м	$3,7 \times 10^{-4}$
„ „ 13 „	$5,0 \times 10^{-4}$
„ „ 27 „	$3,9 \times 10^{-4}$

На поверхности $\%$ по весу свободного кислорода доходит до $1,9 \times 10^{-3}\%$; в донной воде в глубоких слоях отмечены колебания до $1,0 \times 10^{-3}\%$.

В отдельных случаях процент растворенного кислорода может сильно увеличиваться: максимальные числа наблюдались Э. Берджем (E. Birge) и Ч. Джудай (C. Juday). В пределе кислород в озере Otter в Висконсине 25/VII 1910 отвечал 396,2% насыщения (384—385% с поправкой Н. Книповича. 1930) на глубине $4\frac{1}{2}$ метра. Весовой процент насыщения может превышать $4,0 \times 10^{-3}\%$, т. е. по объему более 30 см³ в литре. Это число дает понятие об интенсивности геохимической энергии жизни.

648. Совершенно обратное явление наблюдается для углекислоты; — она накапливается в донной воде в целом ряде озер.

Увеличение растворенной углекислоты, связанное с биохимическими процессами, вызывает разнообразные химические процессы при наличии ионов кальция и железа в донной воде. Углекислота как газ исчезает, переходит в ионы,—в полусвязанное, а затем в связанное состояние, приводящее к выделению кальция в виде CaCO_3 . Придонная вода является источником углекислых ионов и для выше лежащей обычной, озерной воды.

Для озер Висконсина Бердж и Джодей (Birge и Juday, 1913) различили три типа вод по нахождению CO_3'' и HCO_3' в их воде.

1. Озера с равномерным распределением связанной CO_2 во всей толще, при ее количестве не больше $1,2 \times 10^{-30}/\text{о}$ (ион CO_3'').

2. Озера с увеличением ее в донной воде и колебанием в воде озера от $1,6 \times 10^{-3}$ до $5,4 \times 10^{-30}/\text{о}$ (ион CO_3'').

3. Жесткие озера — связанная CO_2 доходит до $1,4 \times 10^{-20}/\text{о}$ (вычисленная как ион CO_3'').

Количество связанной углекислоты в донной воде есть в значительной мере функция жизни, а на поверхности озер, при мощном развитии фитопланктона, свободная углекислота — газ исчезает.

По наблюдениям Берджа и Джодей, в Висконсинских озерах ионы CO_3'' преобладают над ионами HCO_3' . В оз. Глубоком их число одинаково по объему (т. е. по весу $\text{HCO}_3'/\text{CO}_3'' = 1,016$).

Свободная углекислота увеличивается в придонной воде, доходя (оз. Глубокое, например) до $2,5 \times 10^{-30}/\text{о}$.

В связи с таким характером углекислоты реакция поверхности вод щелочная. (Для оз. Глубокого доходит до $P_n = 8,5$), а реакция придонных — кислая (P_n до 6,6). Во время осенней циркуляции получается для оз. Глубокого, по С. Кузнецову и С. Дуплакову (1923), $P_n = 7,2$.

Количество метана в донной воде наблюдалось в пределах (легкий газ) $4,4 \times 10^{-4}$ — $2,8 \times 10^{-30}/\text{о}$, а H_2S до $6,7 \times 10^{-40}/\text{о}$. Эти равновесия намечены, но не изучены.

649. Отдельно должны быть выделены озерные воды, которые так резко отличаются в своем составе, что химические данные для них не введены в таблицу § 634.

Мы имеем здесь отчасти повторение тех же явлений, какие мы имеем для рек.

Сильно должны отличаться по химическому составу воды загрязненных человеческой культурой прудов и озер. Эти резко измененные человеком природные образования могут быть химически чрезвычайно разнообразны. Их рассмотрение выходит за пределы этой книги.

Однако вполне избавиться от культурного фактора мы не можем — особенно для озер. Их состав очень резко отражает — более резко, чем это наблюдается для рек — изменение окружающей их природы.

Одним из наиболее резких химических изменений, вносимых культурой, является изменение органического вещества, растворенного в водах — появление новых веществ и изменение того органического вещества, которое вносится и в девственные озера.

Если можно сейчас оставлять без внимания озера, загрязненные отбросами фабрик и жилья, то нельзя не учитывать факт изменения химического состава озер или прудов — искусственных озер — под влиянием культуры. В рыбном хозяйстве мы имеем сейчас многочисленные случаи удобрений, вносимых в воду и вызывающих мощное развитие жизни.

Вся химия озера или пруда при этом резко меняется.

В водах культурных стран мы не можем избавиться от культурного фактора. Он, очевидно, влияет и на числа таблиц. Современные озера

все изменены в своей химии человеческой культурой и изменяются с каждым поколением все значительнее.

650. Обращаясь к естественным озерам, богатым органическим веществом, мы встречаем новый тип, не известный для рек. Помимо бурых и черных вод озер, отвечающих приполярным и притропическим областям и аналогичным рекам, для озер наблюдаются своеобразные болотные воды, к сожалению химически мало изученные, которые не могут быть объединяемы с приполярными и притропическими озерами, хотя принадлежат к близкому семейству (§ 652).

Северные, богатые органическими веществами, озера были изучены недостаточно полно, но все же наиболее точно, финляндским ученым О. Асканом. Исходя из его данных (с добавлением немногих других), мы имеем следующий состав вод этих северных окрашенных озер (в ‰):

Они отвечают виду С — О — N.

Твердый остаток $1,2 \times 10^{-2} - 2,5 \times 10^{-3}$

Элементы:

C¹ $3,5 \times 10^{-3} - 1,0 \times 10^{-4}$

O² $3,0 \times 10^{-3} - 1,0 \times 10^{-3}$

Si³ $5,6 \times 10^{-4} - 5,2 \times 10^{-7}$

Ca $3,5 \times 10^{-4} - 9,9 \times 10^{-7}$

Na $2,5 \times 10^{-4} - 6,3 \times 10^{-7}$

N⁴ $1,5 \times 10^{-4} - 4,5 \times 10^{-5}$

K $1,2 \times 10^{-4} - 3,8 \times 10^{-7}$

Mg $1,2 \times 10^{-4} - ?$

H⁵ $1,1 \times 10^{-4} - 7,7 \times 10^{-5}$

Fe⁶ $5,6 \times 10^{-5} - 7,7 \times 10^{-8}$

Al⁷ $5,0 \times 10^{-5} - 1,0 \times 10^{-7}$

Cl $5,9 \times 10^{-6} - 4,8 \times 10^{-7}$

Mn $4,6 \times 10^{-6}$

P⁸ $4,3 \times 10^{-6} - 7,1 \times 10^{-7}$

Орган. вещ. . . . $6,5 \times 10^{-3} - 2,1 \times 10^{-3}$

Совершенно своеобразный характер этих вод ясен уже из этих чисел. Вода обычных озер: О — Na — Cl — С —, здесь же вода — С — О — N.

Вся динамика таких озерных вод должна быть особая: вероятно в связи с их малой прозрачностью (А. Thipemaпп. 1925) они лишены обычной в мелких озерах подводной растительности. В режиме их кислорода и углекислоты жизнь должна играть другую роль, чем в обычных озерных водах.

Особый вид представляют озера — бурые и черные — тропических и подтропических стран. Мне неизвестны анализы отвечающих им вод.

¹ В виде органического вещества ($6,5 - 2,1 \times 10^{-3}‰$). Не принята во внимание растворенная СО₂. Она изменит порядок минимум ($> 10^{-3}‰$) и повысит коэффициент максимума.

² Не принят во внимание растворенный кислород. Повысит коэффициент.

³ Главным образом, SiO₂. Числа, может быть, преувеличенные.

⁴ Не принят во внимание азот, растворенный в виде газа. Повысит содержание азота в следующую декаду — $10^{-3}‰$. Главным образом, это азот органического вещества. Азот аммиачный не доходит до $1 \times 10^{-7}‰$, азот нитратный не превышает $5 \times 10^{-7}‰$.

⁵ Принят во внимание только водород органического вещества. Должно быть, есть HCO₃¹.

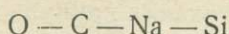
⁶ Может быть, мицеллы п Fe₂O₃ и H₂O.

⁷ Может быть, мицеллы п Al₂O₃ и H₂O.

⁸ Из PO₄^{'''}.

651 Небольшую группу озер — стоячих вод — составляют вулканические и гейзерные озера.

Таково, например, озеро в Йеллоустоне — состава $O - Si - Na - C$, анализированное Ф. Гучем и Д. Уайтфилдом (1889):



Твердый остаток $1,7 \times 10^{-2} \%$

Элементы (%):

O¹ $9,0 \times 10^{-3}$

Si $2,0 \times 10^{-3}$

Na $1,6 \times 10^{-3}$

C² $1,8 \times 10^{-3}$

Cl $9,4 \times 10^{-4}$

Ca $8,6 \times 10^{-4}$

K $4,7 \times 10^{-4}$

S³ $2,8 \times 10^{-4}$

Al $2,1 \times 10^{-4}$

N⁴ $3,4 \times 10^{-5}$

Mg $3,0 \times 10^{-5}$

H⁵ $8,4 \times 10^{-6}$

Есть Li.

Нет Fe, B, As.

652. К приполярным озерам, связанным часто с тундрами, близки пресные болотные и торфяные воды, семейство природных вод, отсутствующее для рек, кроме может быть некоторых их участков.

Анализы болотных вод немногочисленны и неполны и не могут дать достаточно ясного понятия об их химическом составе. Характер органического вещества, в них растворенного, не выяснен. Его относят к гуминовым кислотам, — но химические паши представления об этих телах сейчас очень спорны и гипотетичны. Повидимому, наблюдаются и другие кислоты (например, иногда муравьиная).

Ясен, во всяком случае, кислый характер этих вод. Органическое вещество их происходит от разложения своеобразной растительности, которая в особых условиях распада приводит к образованию торфа.

Возможно, что в некоторых случаях в болотных и в торфяных водах в органический комплекс входит железо, фосфор (?) и кремний.

Благодаря такому кислому характеру этих вод и большому количеству очень стойких органических веществ, в них входящих, жизнь в этих водах развита очень слабо. Ей не хватает неорганических питательных веществ, которые только приносятся метеорными водами.

Органическое вещество составляет очень значительную часть твердого остатка — до трети и более. Но взятое безотносительно, благодаря общему малому количеству сухого твердого остатка — количество органических веществ в болотных водах незначительно.

653. Состав болотных вод в сильной степени связан и с той растительностью (гниением ее), которая растет в водных болотных местностях и в конце концов их целиком захватывает; однако эта зависимость сложная: характер

¹ Из $CO_3^{''}$ ($9,0 \times 10^{-3}$), $SO_4^{''}$ ($8,4 \times 10^{-4}$), SiO_2 ($4,2 \times 10^{-3}\%$). O_2 не учтен.

² Из $CO_3^{''}$.

³ Из $SO_4^{''}$.

⁴ Из NH_4^+ ($4,2 \times 10^{-5}\%$). N_2 воздуха не учтен. Перейдет в декаду 10^{-3} .

⁵ Из NH_4^+ . Если есть HCO_3^+ — увеличится.

растительности в свою очередь зависит от химического состава болотной воды, например, сфагнумы не могут жить в водах, богатых кальцием.

Строящая болотную воду растительность берет свои питательные части гл. обр. не из болотной воды, а из метеоров, почвы и грязи. Той чисто водной растительности, которую мы имеем в озерах — здесь в предельных типах болот нет.

654. Можно довольно резко различить два типа болот по их генезису. Одни — более мелкие болота чисто поверхностного происхождения, образующиеся в связи с режимом метеорных вод и верховодок. Другой тип, связанный с историей озер, — болота более глубокие.

И тот и другой типы являются проявлениями больших процессов в биосфере, тесно связанных с живым веществом. Воды, получаемые в результате этих процессов, имеют общие характерные черты, насколько можно судить по современным недостаточным данным.

Первый тип связан с лужами, постоянными лужами (§ 591), топиями. Он связан в иных случаях с ростом в них таких вбирающих воду гигроскопических организмов, которые вбирают много влаги, как, например, сфагновые мхи.

Огромный процесс этого рода мы имеем, например, в таежных и вообще лесных массивах. Иногда получаются грандиозные явления, например, верховые болота Васюганья, для которых есть некоторые скудные химические данные (§ 657).

В общем вода болот этого типа совсем мало изучена. Кое-какие данные приведены ниже.

655. Другой тип связан с историей озер и является одним из непрерывно происходящих стадий изменения части пресноводных озер. Эти озера в ходе времени переходят или в болота или в соленые озера — в зависимости прежде всего от климатических условий, от режима метеорных вод в первую очередь.

Когда в ходе времени озерная пресная вода превращается в болотную пресную форму, создаются в природе все переходы.

В связи с этим соленые болота этим путем получиться не могут: превращения пресных озер в болота и в соленые озера никогда не совпадают ни для одного озера; оба процесса идут в разных географических районах в зависимости от климатических и биологических процессов.

Соленые болота, химически совсем не изученные, имеют особое происхождение, связаны, например, с выходом подземных соленых ключей в пресное болото (§ 806).

Несомненно, мы имеем много различных болотных вод, которые возможно сейчас выделить только очень условно, за отсутствием достаточно глубокого и тщательного исследования. Некоторые из этих вод являются стадиями промежуточными — при переходе пресных озер в болота и далее болот в торфяники.

Мы имеем, следовательно, такой цикл:

Пресные озерные воды → Разные болотные воды → Торфяниковые воды.

В наших широтах, например, все болота переходят в сфагnumовые болота, и болотные воды принадлежат сфагnumовым болотным водам (§ 659).

656. Болотные воды во всех культурных странах чрезвычайно изменены культурной работой человека. В этом отношении они более изменены, чем воды рек и озер.

Это изменение для Европы и Северной Америки делает чрезвычайно затруднительным точное представление о составе этих вод: этой работой изменен характер верховодок всей культурной области, и исчезли огромные площади болот. В западной Европе эта работа изменения — мелиорация — существовала уже тысячи две, три лет назад. Германия Тацита не была тайгой: ее природа пережила уже земледельческую культуру — глав-

ным образом, кельтских государственных образований в местах, позже населенных германскими, славянскими, литовскими племенами. Вероятно, в этой работе были большие колебания в ту и другую сторону. С XI—XIII столетия темп мелиоративной культурной работы человечества усилился; с XVII—XVIII он передвинулся сильно на восток — в Азию — достигши в XIX—XX огромного значения. Одновременно с XVII века, а еще с большей интенсивностью с XIX века он охватил континент Северной Америки.

Только сейчас начинает выясняться для нас огромная многовековая работа Китая, создавшая к первому тысячелетию до нашего летоисчисления нынешнюю природу Китая, связанную с исчезновением огромных болотных пространств. В меньшей мере — и на абсолютно меньшем пространстве в отвечающей болотам зоне южного полушария — наблюдается то же проявление многовековой культуры, усилившееся с захватом территории кавказской расой.

657. Помимо такого изменения, учесть которое можно в отдельных случаях, необходимо считаться с изменением, проявляющемся в историческое время, состава болотных вод и характера самих болот, в связи с тем, что для болот наблюдается более геологически быстрый темп естественного изменения, чем это существует для озер и рек в связи с большими климатическими изменениями, идущими в северном полушарии при переживаемом замирании последнего ледникового периода.

Область развития болот и в частности колебания их площади в ходе времени тесно связаны с замиранием ледникового периода, отражение которого на природу мы изучаем сейчас в биосфере (§ 29, 69). Для средней Европы — для периода немногих десятков тысяч лет — перед нами выясняется следующая картина: в до-бореальное время рост болот; в бореальное — остановка — высыхание и облесение; в атлантическое — усиление и образование новых болот; в современную эпоху прохождение вновь через стадии аналогичные бореальной и атлантической. Повидимому, сейчас вновь создается стадия, малоблагоприятная болотам. Но здесь действие культуры резко нарушает ход естественных условий.

658. Дать общую химическую картину для болотных вод, хотя бы в роде таблицы § 635, мы сейчас не можем, так как анализов очень мало.

Чрезвычайно характерен кислый характер этих вод. Он меняется в разных частях одного и того же болота и болотистого озера. Так Скадовский (1923) в Лузинском болотистом озере, богатом железом (§ 00), нашел, начиная от берега, три типа воды по P_n : 1) 6,5, 2) 4,38—4,5 и 3) 3,2—3,8 — в середине. Для Васюганья в лесных осокогипновых болотах P_n колеблется от 4,04 до 6,48, в безлесных — от 5,28—8,08 (М. Барышников, 1929).

Существование очень большой кислотности, наблюденной Скадовским, подтверждается и дальнейшим изучением. Числа P_n 3,2—4,5 могут считаться нормальными (Е. Wehrle, 1928 и другие — для Германии и Швейцарии).

Эта величина слишком велика для так называемых гуминовых кислот и, надо думать, вызывается более сильными кислотами, должно быть, органическими (например, муравьиной и т. п.).

659. Сейчас выделить болотные воды на существующие в природе виды и подвиды можно (очень осторожно) только по ботаническим типам болот.

По биологическим и морфолого-географическим признакам выделено много разных типов болот. К сожалению, химическое изучение отвечающих им вод сильно отстало от их физико-географического и ботанического описания, и мы не знаем, насколько меняется состав воды в связи с изменением географического облика болот.¹

¹ Их исследование особенно важно еще и потому, что здесь под влиянием жизни

Болота не всегда имеют много воды — наблюдаются периодические их обеднения и обогащения водой, что, очевидно, должно отражаться на характере воды. Химия этого процесса, сколько знаю, не изучена.

Может быть, основным фактором является (Р. Аболин. 1928) в болотах генезис воды — 1) метеорная, атмосферическая, 2) грунтовая (верхняя подземная вода), 3) речная или ручьевая.

В связи с этим и с той растительностью, которая их покрывает, можно думать, что будут резко различаться следующие болотные воды:¹

1. Торфяные воды (конечная форма болотных вод?).

2. Топи или трясины — связаны с речной или ручьевой водой. Без преобладания мхов.

3. Сфагновые болота, связанные с грунтовыми водами (беломошники Р. Аболина).

4. Сфагновые болота, связанные с метеорными водами (красномошники Р. Аболина).

5. Гипновые болота, связанные с метеорными водами (буромошники Р. Аболина).

Существование химических различий несомненно, но сейчас не может быть достаточно точно выражено. Так воды болот осоковых (№ 2 — одна из разностей?) гораздо более богаты зольными частями, чем воды болот сфагновых. По М. Смородинцеву и А. Адовой (1928) зольных частей $8,5 \times 10^{-3}$ — $1,4 \times 10^{-2}\%$ для осоковых вод, а для сфагновых $3,0 \times 10^{-3}$ — $4,1 \times 10^{-3}\%$. В то же время сфагновые воды очень богаты органическими веществами, на 80%, по И. Смородинцеву и М. Равич-Щербо — гуминовыми. Электропроводность тех и других вод, по тем же авторам, резко различна (для осоковых 201,97—327,0 $K_{18} \times 10^6$ для сфагновых 50,7—73,07).

Гипновые болотные воды — жесткие — богаты кальцием, сфагновые им бедны.

Во всех моховых разностях должны быть отмечаемы по типу растительности травяные, кустарниковые и древесные болота, химический характер воды которых должен быть различен, но насколько различен — не знаем.

Особый тип болот представляют болота таких мест, как таксодиевые и древесные болота Северной Америки, некоторые из которых, — таксодиевые приморские (Флорида) — являются носителями морских соленых болотных вод (§ 769).

С химической точки зрения из болотных вод несомненно должны быть выделены их виды, в которых идет концентрация некоторых элементов, тесно связанная с их растительностью, но уже микроскопическою.

Таковы болота, концентрирующие железо в связи с развитием железобактерий; повидимому, такие болота связаны с топями и трясинами и должны давать переходы к тем железистым, грунтовым и наземным водам, которые связаны с образованием дерновых железных руд.

6. Железистые болотные воды. Это продукты жизнедеятельности ферробактерий.

Вероятно связан в своей основе с жизнью и тот тип болотных вод, который дает свободную серную кислоту:

могут образовываться чрезвычайно чистые (химические) воды. Например, такова вода в сфагновых болотах, почти лишенная жизни и временами (?) бедная растворенными органическими веществами. Жизнь здесь находится на стадии голодания, подбирает последние следы питательных (растворенных) веществ.

¹ Вероятно, должны быть отделены от обычных болотных вод — тундровые наземные воды.

7. Кислые болотные воды с H_2SO_4 .

660. Можно взять, как пример химического состава, анализы Э. Раманна (1895) для болотных вод Германии. Здесь мы имеем:

I. Сфагnumовые болотные воды (5 ан.).

II. Гипновые болотные воды (3 ан.).

III. Eriophoretum

IV. Arundinetum

} Болота из высшей растительности.

Мы имеем (в ‰):

I		II	
Минеральн. тел.	$2,0 \times 10^{-3} - 1,3 \times 10^{-2}$	Минер. ост.	$2,2 \times 10^{-2} - 7,1 \times 10^{-3}$
О	$4,2 \times 10^{-3} - 8,2 \times 10^{-4}$	Орган. вещ.	$2,8 \times 10^{-2} - 9,5 \times 10^{-4}$
Орган. вещ.	$1,9 \times 10^{-3} - 5,5 \times 10^{-4}$	Са	$1,1 \times 10^{-2} - 8,3 \times 10^{-4}$
Са	$8,5 \times 10^{-4} - 9,4 \times 10^{-5}$	О	$6,6 \times 10^{-3} - 2,5 \times 10^{-3}$
Fe	$6,9 \times 10^{-4} - 1,0 \times 10^{-4}$	К	$1,9 \times 10^{-3} - 1,2 \times 10^{-4}$
Na	$6,7 \times 10^{-4} - 1,5 \times 10^{-4}$	Si	$1,5 \times 10^{-3} - 1,7 \times 10^{-4}$
Si	$6,6 \times 10^{-4} - 1,6 \times 10^{-4}$	Fe	$1,1 \times 10^{-3} - 6,9 \times 10^{-4}$
K	$3,2 \times 10^{-4} - 1,2 \times 10^{-4}$	Na	$6,0 \times 10^{-4} - 5,5 \times 10^{-4}$
Mg	$2,7 \times 10^{-4} - 7,2 \times 10^{-5}$	S	$5,0 \times 10^{-4} - 3,9 \times 10^{-5}$
S	$2,2 \times 10^{-4} - 3,9 \times 10^{-5}$	Mg	$3,9 \times 10^{-4} - 2,1 \times 10^{-4}$
Cl	$1,7 \times 10^{-4} - 6,4 \times 10^{-5}$	Mn	$1,9 \times 10^{-4} - 7,7 \times 10^{-5}$
P	$1,0 \times 10^{-4} - 2,8 \times 10^{-5}$	Cl	$1,4 \times 10^{-4} - ?$
Mn	$8,5 \times 10^{-5} - 3,7 \times 10^{-6}$	P	$5,7 \times 10^{-5} - 4,8 \times 10^{-6}$

Совершенно ясно своеобразие и различие этих вод, богатых С, Мп, Fe.

Вода сфагnumовых болот: I—С, О, Са, Fe, Na, Si.

Вода гипновых болот: II—С, Са, О, К, Si, Fe.

Обращаясь к двум другим типам, имеем (в ‰):

III		IV	
Минер. ост.	$6,3 \times 10^{-3}$	Минер. ост.	$7,7 \times 10^{-3}$
О	$2,2 \times 10^{-3}$	О	$2,7 \times 10^{-3}$
Са	$1,4 \times 10^{-3}$	Са	$2,2 \times 10^{-3}$
Орган. вещ.	$1,2 \times 10^{-3}$	Na	$1,2 \times 10^{-3}$
Na	$8,9 \times 10^{-4}$	Орган. вещ.	$7,6 \times 10^{-4}$
Si	$5,6 \times 10^{-4}$	S	$3,9 \times 10^{-4}$
Mg	$2,5 \times 10^{-4}$	Mg	$3,7 \times 10^{-4}$
S	$2,4 \times 10^{-4}$	K	$3,7 \times 10^{-4}$
K	$2,1 \times 10^{-4}$	Fe	$1,6 \times 10^{-4}$
Fe	$2,0 \times 10^{-4}$	Si	$3,2 \times 10^{-4}$
Cl	$9,4 \times 10^{-5}$	Mn	$6,4 \times 10^{-5}$
Mn	$7,6 \times 10^{-5}$	Cl	$4,5 \times 10^{-5}$
P	$7,0 \times 10^{-5}$	P	$1,3 \times 10^{-5}$

Различие между этими водами, повидимому, несомненное, но требуются новые анализы для его подтврждения.

По Шимперу (1908) для Nochtmooren (сфагnumовых в том числе) средней Европы отношение органического вещества к плотному остатку равно в среднем 5:2.

661. Болотные и торфяные образования дают начало разнообразным культурным водам, которые всюду сейчас распространены в Евразии и в Северной Америке в связи с широким развитием добычи торфа и превращения торфов и болот в культурные области

В создании в болотах мелких, обычно, водоемов — карьеров, канав и т. п. — играют огромную роль лужи, т. е. метеорные воды и верхние пластовые воды, которые регулируются человеком. Эти воды проходят закономерные изменения в ходе времени. Для Московской области — по И. Смородинцеву и М. Равич-Щербо (1927) — с годами уменьшается концентрация вод, и в частности — количество органических веществ. Очень ясно проявляется различие осоковых и сфагновых компонентов стоячих вод (болотных луж). Например, следующие карьеры дают (в ‰):

	Осоковая вода (Бисерово)	Сфагнумовая вода (Кудиново)
Молодой карьер	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Неорг. веш. } 1,6 \times 10^{-2} - 1,2 \times 10^{-2} \\ \text{Орган. веш. } 9,1 \times 10^{-3} - 8,6 \times 10^{-3} \\ \text{Раствор. } O_2 \text{ } 5,8 \times 10^{-4} - 3,2 \times 10^{-4} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 3,7 \times 10^{-3} - 5,0 \times 10^{-3} \\ 2,5 \times 10^{-2} - 1,6 \times 10^{-2} \\ 1,9 \times 10^{-4} - 9,1 \times 10^{-5} \end{array} \right.$
	(июль — сент. 1926)	
Старый карьер (около 10 лет)	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Неорг. веш. } 9,3 \times 10^{-3} - 8,0 \times 10^{-3} \\ \text{Орган. веш. } 6,3 \times 10^{-3} - 5,2 \times 10^{-3} \\ \text{Раствор. } O_2 \text{ } 7,8 \times 10^{-4} - 6,5 \times 10^{-4} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 3,8 \times 10^{-3} - 2,4 \times 10^{-3} \\ 1,1 \times 10^{-2} - 9,3 \times 10^{-2} \\ 5,0 \times 10^{-4} - 9,5 \times 10^{-5} \end{array} \right.$
	(июль — сент. 1926).	

Эти болотные воды не отделимы, повидимому, от вод торфяных, для которых у нас еще меньше данных химического характера. Они создаются при тех же культурных условиях, в связи с мелиорацией торфяных разработок после их использования или во время работы. Они также очень богаты органическим веществом, бедны неорганическим остатком, богаты растворенной углекислотой. По неполному анализу В. Гинтля (W. Gintl)¹ для таких вод (пруды и запруды), около Neusee в Германии, мы имеем воду O — Ca — S подкласса N₂ — CO₂ — O₂. Вот числа (в ‰):

O — Ca — S

Твердый остаток: $3,3 \times 10^{-3} - 3,0 \times 10^{-3}$

Элементы:

O ₂	$2,9 \times 10^{-3} - 1,8 \times 10^{-3}$
Ca	$9,4 \times 10^{-4} - 7,2 \times 10^{-4}$
Cl	$7,7 \times 10^{-4} - 3,0 \times 10^{-5}$
S ³	$4,4 \times 10^{-4} - 3,0 \times 10^{-4}$
Si	$4,0 \times 10^{-4} - 3,0 \times 10^{-4}$
C ⁴	$3,5 \times 10^{-4} - 1,6 \times 10^{-4}$
Mg	$7,0 \times 10^{-5} - 4,0 \times 10^{-5}$
Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	$1,1 \times 10^{-4}$

662. Среди поверхностных вод есть воды, которые, вероятно, должны быть отнесены к подряду богатых углекислотой вод подкласса CO₂ — N₂ — O₂.

Эти воды мало изученные, теснейшим образом связанные с жизнью и ею создаваемые.

¹ Не определены щелочи.

² Из SO₄ (до $1,3 \times 10^{-3}‰$), O₂ ($5,9 \times 10^{-4} - 4,8 \times 10^{-4}‰$), CO₂ ($1,3 \times 10^{-3} - 5,8 \times 10^{-4}‰$). Органич. веш. не учтены. Для его окисления необходимо $5,9 \times 10^{-4} - 5,4 \times 10^{-4}‰$ кислоты.

³ Из SO₄.

⁴ Из CO₂.

Они представляют как бы природные переходы к культурным водам (здесь оставляемым без рассмотрения), среди которых есть тоже воды этого подкласса.

Это органогенные пресные воды, играющие огромную роль во влажных областях, главным образом в лесистых и в болотистых местностях во всех поясах биосферы.

Органогенные воды образуют водоемы, расположенные на растительных организмах.

Наибольшее распространение они имеют в тропических и в подтропических областях, главным образом в среде древесной растительности. Они собираются в дуплах, листьях, цветах и т. п.

Можно различать два типа таких водоемов — временные, аналогичные лужам (§ 591), но не соприкасающиеся с землею, и постоянные. Происхождение и тех и других связано в значительной мере с метеорными водами. В общей истории воды эти небольшие в отдельности скопления отнюдь не безразличны, но их роль и их значение не выяснены.

Вода эта часто содержит большое количество органических веществ и вероятно часто является, согласно принятым в этой книге принципам классификации, солеными водами и даже рассолами. Немногие количественные данные будут указаны ниже (§ 808, 912). Вода в постоянных водоемах частью выделяется растениями, частью росяного происхождения — реже происходит из дождей.

К сожалению, анализов воды этих вместилищ почти нет, но особая фауна (и флора) их более изучена. Вместилища на листьях в тропических и подтропических областях очень обычны у Американских Bromeliaceae.

Их листья поглощают воду из воздуха, она собирается во влагалищах листьев в количествах до $\frac{1}{2}$ литра. Пикадо указывает, что их заросли представляют как бы „фракционированные болота“. Вода содержит трипсин и амилазу и очевидно имеет совсем особые свойства. Анализ не выполнен. Это явление очень обычно, например, в Австралии в *Asplenium niger*, у нас среди Umbelliferae, во влагалищах листьев (*B. Алпатов*, 1922) у *Angelica sylvestris* (мелкие вместилища в 2—3 см³).

663. Совершенно отдельно должны быть поставлены своеобразные пресные воды, которые содержат в виде зелей, а может быть разведенных гелей, химические тела определенного состава — коллоидальные воды.

Этот тип вод чрезвычайно мало изучен и вероятно окажется очень распространенным.

Разнообразным образом культурная работа человечества создает подобного рода новые виды вод.

Из менее связанных или несвязанных с деятельностью человека пока можно выделить два семейства таких вод, но их вероятно значительно больше.

Это — воды серные и алюмокремневые. Повидимому, есть воды кремневые — вероятно, гидратные алюминиевые и железные.

Это воды, быстро исчезающие, переходящие в твердые соединения и не собирающиеся в очень больших скоплениях; они образуются во время разнообразных процессов выветривания; удобно их выделить в отдельное семейство коллоидальных поверхностных пресных вод.

664. Пока с несомненностью можно сюда отнести два подсемейства пресных вод. Во-первых, серные или молочные воды, и во-вторых, ферри- (алюмо)-силикатовые воды.

К сожалению, химически они изучены — и те и другие — очень слабо.

Для серных вод мы имеем и реки, и ручьи, и озера.

Вода рек, принадлежащих к этому подсемейству, резко отличается по своим внешним признакам, — во-первых, потому, что она обычно насыщена

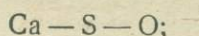
сероводородом, т. е. содержит в форм H_2S примерно $4,5—6 \times 10^{-1} \%$ S. В действительности количество серы при полном развитии процесса может быть еще больше, так как в сложных реакциях этих вод содержатся еще ионы HS' и SO''_4 (напр., в р. Аргуни, по К. Харичкову, $5,6 \times 10^{-3} \%$ серы в этой форме). Наконец сера выделяется в свободном коллоидальном состоянии, образуя мути и эмульсии. Вода белая, и такие воды можно назвать молочными водами, по старому русскому народному названию, введенному в научный язык еще в 1759 году М. А. Богдановым.

Количество растворенной CO_2 в этих водах не было определено, и возможно, что здесь есть два подкласса с CO_2 и без CO_2 — азотнокислородные воды — или два подряда (бедный и богатый CO_2).

При определении класса коллоидальных вод (так же как и суспензий), может быть, удобнее не учитывать коллоидальных компонентов раствора и проводить деление на классы — пресные, соленые, рассольные — только по ионам и по химически растворенным комплексам.

Возможно, что количество коллоидальной серы может временами достигать $10^{-1} \%$ по весу, но такое их „соленое“ состояние является неустойчивым; H_2S уходит в воздух, приток его меняется, образуются ионы SO''_4 , он поглощается могущественно в них развивающимся живым веществом. Река быстро принимает нормальный состав, может быть, лишь с максимальным содержанием ионов SO''_4 .

Повидимому, для рек — по крайней мере для одной их группы — правильно будет выделить вид:



некоторые анализы дают до $1,4 \times 10^{-2} \%$ CaSO_4 и около $7,1 \times 10^{-3} \%$ H_2S .
Необходимы анализы.

Серные реки наблюдаются или в областях биохимического анаэробного изменения гипсоносных толщ (б. Самарская губ.) или же в реках, питающихся сероводородными источниками.

Обычно вся система этих рек, их бассейн (во всем его объеме) образован водой того же подкласса — все ручьи, источники, пруды, озера, лужи и, очевидно, верхние пластовые воды. Здесь повторяются все те же семейства, которые наблюдались для других поверхностных вод.¹

Точно так же, как в классе соленых вод, мы должны, вероятно в отдельных случаях, иметь повторения, отвечающие этому же подклассу вод азотно-кислородно-сероводородных.

665. Другое семейство коллоидальных пресных вод представляют алюмо- и феррисиликатовые коллоидальные воды.

Для этих вод есть серьезные данные думать об их большом значении в истории природных вод.

Указания эти двоякого характера — во-первых, история каолиновых глин в связи с перемещением их при процессах выветривания, и во-вторых, ход самих процессов выветривания, как он выясняется в умеренном климате мест нашего обитания.

Вероятно географический элемент должен играть большую роль в этих явлениях — но они так мало изучены, что сколько-нибудь уточнить явление сейчас нельзя.

Мы имеем — в истории каолиновых глин и каолинов — точные указания на широкое перемещение этих тел в растворах или в псевдорастворах. Вероятно это коллоидальные растворы.

¹ Судя по новейшим работам Бастина в Америке и Н. Г. Ушинского в Баку и их сотрудников, сероводородные бактерии идут глубоко внутрь земной коры, может быть до 1 километра и больше вглубь. Поэтому возможно, что значительная часть процессов, которая относилась мной (1918 — 1922 г. в моем „Опыте описат. минералогии“) к месторождениям фреатическим, должна быть отнесена к области биосферы.

В дождевых потоках и в культурных ямах каолиновых месторождений, например, Украины мы имеем представителей аналогичных вод. Но воды этого типа явно не отвечают значению того явления, о котором идет речь, и не могут объяснить идущее в биосфере выделение каолинов и каолиновых глин из водных растворов.

Все указывает, что существует очень большое явление коллоидальных глинистых вод — в связи с созданием каолиновых залежей, — которое мы не замечаем

Мне известен один случай научно исследованной воды этого рода, сделанный Э. Ведекиндом и А. Штраубэ (1922). Это случай внезапного выхода подземного родника, залившего большую базальтовую каменоломню в Витценгаузене около Верры. Образовавшееся озерко (до 7 метров глубиной) содержит воду красного цвета. Вода представляет коллоидальный пресный псевдораствор (до 1% коллоида), при чем коллоид является в значительной мере ферриалюмосиликатом (по анализу каолинового ряда). Раствор (отделенный ультрафильтрацией) пресный ($\text{Na} - \text{Cl} - \text{SO}_4$). Если объяснение верно, то мы имеем здесь воду, возникшую, как и рудные воды, жизнедеятельностью человека; однако явление может быть связано и с водами, несущими в коллоидальном золе продукты изменения базальтов. Явление заслуживает большого внимания.

666. При таком исключительном значении, какое играют каолиновые глины в биосфере и в явлениях выветривания (§ 679 сл.) и при явном огромном участии в этих процессах поверхностных вод — воды, связанные с образованием глин, должны играть большую роль в механизме биосферы.

Мне кажется, сейчас начинают выясняться некоторые явления, которые вскроют в конце концов незамечаемый процесс.

С этой точки зрения очень интересны и важны наблюдения О. Гаррасовица (1926 сл.) над выделением при выветривании горных пород средней Европы, — их верхних покровов, в том числе массивных, из коллоидальных растворов алюмо-ферро-кремневых и кремневых гелей. Существование и широкое распространение свежее образованных гелей, мне кажется, Гаррасовицем доказано на огромном пространстве.

Отсюда следует, что 1) поверхностные воды, собирающие продукты выветривания на земной же поверхности, выделяют гели всюду из золь и более грубых дисперсных систем, — остальной же раствор идет глубже (в конце концов в верховодки) и 2) что этот остаточный раствор может и не быть коллоидальным раствором, а наоборот раствором обычного типа.

667. Мы имеем всюду указания на следы этих вторичных изменений.

Таковы раньше отмеченные поверхностные сульфатные воды выветривания (§ 602 — 603).

Коллоидами пропитаны подземные воды выветривания (§ 678), входящие в поверхностные воды, какого бы происхождения они ни были. Гидраты, в них образующиеся, чрезвычайно легко переходят в гели, в поверхностных водах свертываются.

В областях пустынь и полупустынь можно ждать более резкого проявления таких же вод, связанного с быстрым выделением кремневых, алюмо- и ферри-кремневых гелей.

Таковы указания (А. Ферсман и Д. Щербаков. 1928) на исключительную подвижность кремнезема в пустынях. Судя по описанию А. Бродского (1928) темноокрашенных, лишенных органических веществ, вод такыров в среднеазиатских пустынях, мы имеем там постоянное появление коллоидальных ферри-(алюмо)-силикатовых вод.¹

668. Очень широка и разнообразна область коллоидальных вод культурного происхождения. Это воды, временно существующие, быстро

¹ Следует вспомнить наблюдения А. О. Шкляревского (1899) бокситов и пирофилитов для полупустынь Западной Сибири.

исчезающие, однако их нельзя оставлять без внимания. По плану этой книги я могу только их констатировать. Таковы воды изменяемые коженными заводами, богатые, с одной стороны — органическими коллоидами, а с другой и продуктами химического взаимодействия — сернистыми коллоидами (Са, As и т. д.).

Другой тип представляют коллоидальные воды, изменяемые фабриками и заводами, связанными с производством жиров, масел, мыл, обработки шерсти. Здесь в водах преобладают жирные кислоты и их соли, холестерин и т. п., дающие золи и эмульсии.

Вся эта область непрерывно создающихся человеческой волей и разрушающихся в равновесии биосферы вод ждет исследования с точки зрения ее влияния на это равновесие.

669. Среди многочисленных неколлоидальных культурных вод должны быть отмечены рудные воды, тесно связанные с разрушением под влиянием метеорных вод и верховодок рудных месторождений, идущим в местах разработки рудных минералов.

Здесь, в связи с характером месторождения, получают не только стоячие воды на поверхности и в более или менее глубоких подземных сооружениях, но верховодки и метеорные воды, вступая в области стратиферы, не находившиеся раньше в соприкосновении с нашей воздушной оболочкой, начинают изменяться в новых условиях среды — вследствие образования новых растворимых продуктов.

Образуются эти воды под влиянием деятельности человека не по его желанию, а как следствие этой деятельности, при чем в значительной мере являются новообразованием, с которым он должен бороться.

Идет окисление сернистых соединений, арсинов, соединений закиси железа. Образуются сульфаты и карбонаты и т. д. и соответственные воды.

Аналогичные воды могут образовываться и естественным путем — может быть, менее интенсивно — в пустотах и в трещинах естественных выходов рудных тел на земную поверхность.

670. Как пример можно привести воды: O—S—Fe (I) и O—C—K—Na—Fe—Ca—Mg (II). Сложность состава воды III показывает своеобразную сложность условий ее образования (выветривание). В анализах не исследованы газы и органические вещества. I. Анализ Wells'a из Дектоуна в Тенесси. II. Анализ H. Schweiggart'a из Saalfeld'a в Германии. III. Niklasberg в Германии в штольне. Анализ O. Steiner'a (1931).

I	II	III
O—Fe—S	O—Ca—Na—S—Mg—C ¹	O—C—K—Na—Ca—Fe—Mg
	Остаток (в %)	
$3,8 \times 10^{-2} - 5,7 \times 10^{-2}$	$6,0 \times 10^{-3}$	$8,1 \times 10^{-2} \quad 6,9 \times 10^{-2}$
	Элементы (в %)	
O ² $3,9 \times 10^{-2} - 2,9 \times 10^{-2}$	$4,7^3 \times 10^{-2}$	$4,4 \times 10^{-2} - 3,3 \times 10^{-2}$
Fe $2,3 \times 10^{-2} - 3,1 \times 10^{-2}$		
S $1,9 \times 10^{-2} - 1,4 \times 10^{-2}$		

¹ В штольне. Очевидно выветривание. Характерно нахождение Mo.

² Из SO₄^{''} (до $5,8 \times 10^{-2}$), SiO₂ (до $5,0 \times 10^{-3}$), PO₄^{''} (до $1,2 \times 10^{-5}$). O₂, CO₂, органич. вещ. не учтены.

³ Из HCO₃['] (до $4,8 \times 10^{-2}$), SO₄^{''} (до $3,4 \times 10^{-3}$), PO₄^{''} (до $1,8 \times 10^{-4}$), SiO₂³ (до $1,2 \times 10^{-4}$), MoO₄^{''} (до $2,0 \times 10^{-5}$), AsO₃ (до $1,0 \times 10^{-5}$). O₂, CO₂, органические вещества не учтены.

⁴ Из SO₄^{''} ($2,3 \times 10^{-2}$), HCO₃['] ($2,5 \times 10^{-20/0}$), SiO₂ ($1,2 \times 10^{-3}$), As₂O₃ ($9,6 \times 10^{-4}$), MoO₃ ($8,0 \times 10^{-50/0}$).

Al $4,7 \times 10^{-3}$ — $1,5 \times 10^{-3}$
 Cl $3,8 \times 10^{-3}$ — $4,0 \times 10^{-5}$
 Ca $3,0 \times 10^{-3}$ — $4,0 \times 10^{-4}$
 Cu $2,8 \times 10^{-3}$ — $1,2 \times 10^{-4}$
 Si $2,3 \times 10^{-3}$ — $4,7 \times 10^{-6}$
 Mg $1,2 \times 10^{-3}$ — $2,0 \times 10^{-4}$

Ca $9,8 \times 10^{-3}$
 Na³ $8,4 \times 10^{-3}$
 S¹ $7,6 \times 10^{-3}$
 Mg $4,9 \times 10^{-3}$
 C⁴ $4,9 \times 10^{-3}$

C² $9,4 \times 10^{-3}$ — $8,1 \times 10^{-3}$
 K $7,0 \times 10^{-3}$ — $6,8 \times 10^{-3}$
 Na $4,5 \times 10^{-3}$ — $4,4 \times 10^{-3}$
 Ca $4,5 \times 10^{-3}$ — $3,2 \times 10^{-3}$
 Mg $4,3 \times 10^{-3}$ — $3,4 \times 10^{-3}$
 Fe $4,0 \times 10^{-3}$ — $2,0 \times 10^{-3}$
 Cl $3,7 \times 10^{-3}$ — $2,9 \times 10^{-3}$
 Al $1,9 \times 10^{-3}$ — $1,5 \times 10^{-3}$
 S¹ $1,1 \times 10^{-3}$ — $7,0 \times 10^{-4}$

Zn $6,1 \times 10^{-4}$ — $2,4 \times 10^{-4}$
 Na $5,5 \times 10^{-4}$ — $3,0 \times 10^{-4}$
 K $5,2 \times 10^{-4}$ — $2,0 \times 10^{-4}$

As $7,4 \times 10^{-4}$
 Si $5,6 \times 10^{-4}$
 H⁷ $4,0 \times 10^{-4}$

H⁵ $8,2 \times 10^{-4}$ — $6,9 \times 10^{-4}$
 N⁶ $1,3 \times 10^{-4}$ — $1,6 \times 10^{-5}$

Mn $9,0 \times 10^{-5}$ — $1,0 \times 10^{-5}$
 N $2,3 \times 10^{-5}$

Mo $5,3 \times 10^{-5}$

Mn $8,0 \times 10^{-5}$
 Cu $7,0 \times 10^{-5}$ — сл.
 P $5,9 \times 10^{-5}$ — $5,6 \times 10^{-5}$
 Si $4,4 \times 10^{-5}$ — $3,0 \times 10^{-5}$

H⁸ $6,6 \times 10^{-6}$
 P $3,4 \times 10^{-6}$

Mo $6,5 \times 10^{-6}$ — $3,3 \times 10^{-6}$
 As $6,1 \times 10^{-6}$ — $6,1 \times 10^{-6}$

.....

Nt $2,7 \times 10^{-14}$ — $1,1 \times 10^{-16}$

.....

Nt $2,2 \times 10^{-17}$ ₁₀

Есть As.

Есть Bi, C¹, V.

Эти воды переходят в конце концов в соленые.

671. Сульфатные, карбонатные и сульфатно-карбонатные воды характерны для этого семейства.

Тщательное изучение этих вод имеет очень большой интерес и несомненно поможет выяснить как миграцию химических элементов в земной коре, так и то химическое изменение, которое создается в природных процессах деятельностью человека в психозойную эпоху.

Я приведу здесь еще три анализа: Анализ воды вида O—Ca—Mg—S—(C) одного из американских рудников (№ 4) и анализа П. Шлехерле (P. Schlöcherle) баритовых рудников в Silberlack около Штольберга—№ 5—капельную воду в пустотах баритовых друз и № 6—вода подземной разработки там же. В двух последних водах чрезвычайно характерно присутствие большого количества органического вещества, которое не показано в анализах № 1—4, но все указывает — должно находиться и там. Это вопрос, требующий сейчас разрешения. Для № V—VI мы должны дать формулу: № V—Орган. вещ.—O—Na—C и № VI—орган. вещ.—O—C—Na—Ca—Fe.

¹ Из SO₄''

² HCO₃', CO₂ и органическое вещество не учтено.

³ Содержит V.

⁴ Из HCO₃'.

⁵ Из HCO₃' и NH₄ + (до $1,6 \times 10^{-4}$). Органическое вещество не учтено.

⁶ Из NH₄ + N₂ не учтен. Перейдет в декаду 10⁻³.

⁷ Из HCO₃'.

⁸ Из NH₄ +

Вот числа для этих вод:

IV О—Са—Mg—S—(C)	V Орган. О—Na (C)	VI Орган. О—C (Na—Ca—Fe)
	Твердый остаток	
$9,0 \times 10^{-2} \%$	$1,3 \times 10^{-2} \%$	$1,2 \times 10^{-2}$
Элементы (весовые проценты)		
O ¹ $3,1 \times 10^{-2}$	O ³ $8,6 \times 10^{-3}$	O ⁴ $4,3 \times 10^{-3}$
Ca $1,5 \times 10^{-2}$	Na $8,6 \times 10^{-3}$	Fe $1,4 \times 10^{-3}$
Mg $1,5 \times 10^{-2}$	Fe ² $2,6 \times 10^{-3}$	Na $1,3 \times 10^{-3}$
S ² $1,3 \times 10^{-2}$	Ca $2,5 \times 10^{-3}$	Ca $1,1 \times 10^{-3}$
Na $5,7 \times 10^{-3}$	C ⁶ $1,7 \times 10^{-3}$	Cl $1,1 \times 10^{-3}$
C ⁵ $2,4 \times 10^{-3}$	S ² $1,1 \times 10^{-3}$	
Si $1,3 \times 10^{-3}$		
	Cl $9,0 \times 10^{-4}$	C ⁶ $7,6 \times 10^{-4}$
K $8,5 \times 10^{-4}$	Mg $6,6 \times 10^{-4}$	S $6,3 \times 10^{-4}$
Cl $1,5 \times 10^{-4}$	Ba $3,3 \times 10^{-4}$	Mg $1,6 \times 10^{-4}$
	H ⁷ $1,3 \times 10^{-4}$	Ba $7,0 \times 10^{-5}$
		H ⁷ $6,1 \times 10^{-5}$
	Орган. вещ. $8,7 \times 10^{-3}$	Орган. вещ. $5,9 \times 10^{-5}$

672. Переходя к следующему царству подземных вод, для класса пресных вод мы сталкиваемся с довольно быстрым прекращением этих вод по мере углубления в земную кору. Пресные воды — не в виде паров — во всех подцарствах и семействах этого царства кончаются уже в пределах стратисферы и может быть даже не заходят в ее нижние части.

Они образуются сгущением или паров наземной атмосферы или атмосфер подземных всегда богатых водяными парами, при чем уже на очень небольшой глубине эти сгущающиеся пары быстро насыщаются растворимыми солями — в стратисфере в значительной мере остатками древних иловых морских вод и дают соленые воды.

Глубже других идут восходящие горячие воды (ср. § 530 сл.) семейства минеральных источников (акротермы), генетически связанные с магматическими очагами (иногда очень сложно) — гейзерные и сопочные воды. Они превращаются в жидкие растворы в биосфере или около ее нижних пределов. В сложном химическом процессе вулканических вод на поверхности же земли или около нее сгущаются из водяных паров и пресные вулканические воды.

Из подцарств верхнего покрова (почвенных и иловых вод), пластовых вод биосферы, пластовых вод стратисферы, вод подземных водоемов, восходящих вод и волосных вод горных пород — для огромного большинства химия подземных вод чрезвычайно слабо известна.

Наиболее точны наши знания для вод пластовых и для семейства минеральных вод (акротерм) из вод восходящих.

¹ Из SO_4'' ($3,8 \times 10^{-2} \%$), SiO_2 ($3,1 \times 10^{-3}$), CO_3 ($1,2 \times 10^{-2} \%$) O_2 и CO_2 не учтены.

² Из SO_4''

³ Из HCO_3' ($8,3 \times 10^{-3} \%$), SO_4'' ($3,2 \times 10^{-3} \%$). Органические вещества и газы не учтены.

⁴ Из HCO_3' ($3,8 \times 10^{-3} \%$), SO_4 ($1,9 \times 10^{-3} \%$). Органические вещества и газы не учтены.

⁵ Из CO_3'' CO_2 и органическое вещество не учтено.

⁶ Из HCO_3'' CO_2 и органическое вещество не учтено.

⁷ Из HCO_3 , органическое вещество не учтено.

673. К сожалению, первое подцарство вод верхних покровов планеты, находящихся в теснейшей связи непосредственно с тропосферой или отделенных от нее водными массами — для пресных вод бассейнами суши, — несмотря на свое огромное значение очень мало изучено. Я отношу сюда почвенные и иловые воды — принадлежность проникнутых ими почв и грязей (илов) к одной категории явлений была ясна уже Бюффону — и затем оставленные совсем в стороне воды подпочв.

Выяснение количественного состава этих вод встречает большие методологические трудности, к разрешению которых только что начинают подходить.

Все эти воды облекают сплошной оболочкой весь земной шар и должны быть богаты углекислотой.

Для разных почв и илов должны существовать многочисленные виды этих вод. Очевидно можно различить столько видов и разновидностей почвенных растворов или иловых вод, сколько существует разных почв и морских осадков, т. е. сотни видов и разновидностей.

Они распадаются на три больших семейства — вод почвенных, вод подпочвенных и вод иловых (грязевых).

Все они в значительной мере представляют золи, богаты коллоидами; особенно резко это выражено для иловых вод.

Эти воды всегда содержат в растворе биогенные кислород и углекислоту и в значительной мере биогенный же азот.

Все эти воды только временами пресные — большей частью это солоноватые и соленые воды; редко рассолы (§ 919).

674. Для самых близких к поверхности подземных вод — почвенных растворов с точки зрения вод, их составляющих, вероятно необходимо выделить два семейства — вод биогенных для почв и вод поверхности суши, лишенной видимого почвенного покрова.

Их состав — и даже их существование — теснейшим образом зависят от режима метеорных вод.

В северных и южных влажных областях есть всегда избыток влаги в почвах — воды, проникающие почвы, будут сильно разбавленными, пресными. При высушивании и недостатке метеорных вод они будут солеными.

Почвенный покров покрывает почти всю поверхность суши, однако есть значительные площади, на которых можно только с большой натяжкой говорить о почвенном покрове, хотя это часто и делают — ибо в этих областях отсутствуют основные элементы почвы — зеленая растительность и микроскопическая жизнь (т. е. жизнь вне гравитационного поля), создающие почву.

Таковы разнообразные пустыни, мокрывающие огромные пространства суши, существование и образование которых теснейшим образом связано с водным режимом поверхности планеты, ее бессточной области (§ 678).

Таковы снежные и ледяные пустыни, охваченные снегом и льдом, и пустыни песчаные или каменистые, лишенные поверхностных вод в большую часть времени своего существования.

Хотя здесь почв в собственном смысле слова и нет, отвечающие им верхние подземные воды есть. И в этих водах и в связи с ними идут своеобразные процессы выветривания (§ 680).

675. Они очень плохо изучены. Очевидно, таких вод есть много видов.

Во-первых, те воды, которые находятся в областях твердых фаз воды — вечного снега и льда; вероятно, это воды волосные — рассолы (§ 939).¹

¹ Сюда же должны быть отнесены те воды, которые вызваны быстрым таянием приполярных областей — грязевых потоков, значение которых было подчеркнуто Д. Андерсоном (1900) и названо им солифлюкцией (solifluction). Воды, проникающие эти образования, сколько знаю, химически не изучены. Они находятся и в других геохорах там, где быстро тает снег, и должны быть химически отличны от других вод, напр. в Марокко по Л. Жантилию. Это — аналоги силевых вод (§ 592).

Во-вторых, воды сыпучих песков, например пустынных барханов. Для этих вод мы имеем некоторые данные, которые показывают, что здесь мы имеем и пресные и соленые воды. Распределение влаги песков, например барханов в Репетеке, по Б. Орлову (1922), дает указания на ее концентрацию на глубине 40—120 см. На поверхности влажность песка 0,1—0,3%, в слое концентрации до 2%.

Эта вода представляет определенный раствор. Так, например, по анализам, приводимым В. А. Дубянским, в песке с гребня самого большого бархана Кизыл-ляк, ок. Репетека, водная вытяжка (500 см³ воды) дала растворимых веществ:

Остаток	$1,6 \times 10^{-2} \%$
Элементы	
О ¹	$6,8 \times 10^{-3}$
Ca	$3,4 \times 10^{-3}$
Cl	$2,2 \times 10^{-3}$
Na + K	$2,2 \times 10^{-3}$
C	$1,5 \times 10^{-3}$
S	$4,6 \times 10^{-4}$
Mg	$3,4 \times 10^{-4}$
H ²	$1,2 \times 10^{-4}$

В пустыне в гипсоносных и в глинистых частях их поверхности очень часто эти вытяжки являются солеными.

Для этих пустынь выступают на первое место своеобразные еще более глубокие подземные воды того же характера, богатые кремнием и алюмо- и феррисиликатами, солями, бедные или лишенные органических веществ. В них играют огромную роль коллоидальные процессы, и они в конце концов могут давать студневые и твердые опалы (§ 159).

Я вернусь к ним в главе о геохимии вод.

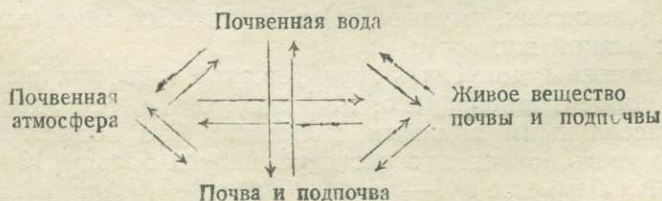
Кроме кремнистых и алюмосиликатовых вод здесь существуют воды того же характера известковые и гипсовые, быть может железистые, быть может соленые.

676. Огромное значение в истории воды имеют почвенные растворы, облекающие, за исключением пустынь, всю сушу и являющиеся основным субстратом жизни.

Некоторое понятие о значении этих водных растворов дают данные о массе такой воды. Для растворителя (т. е. для H₂O) этих вод В. К. Агафонов (1930) дает $1,77 \times 10^{16}$ г, т. е. в десяток раз больше веса всего свободного кислорода на земле.

Характер динамического равновесия, какое представляет природная вода, выступает для этих вод с чрезвычайной ясностью.

Это вечно и непрерывно изменчивая система равновесий.



Характерна в этой схеме сложность структуры не только „почвы“, но и „воды“.

¹ Для этих вод: HCO₃' — $7,4 \times 10^{-3}$, SO₄" — $1,38 \times 10^{-3} \%$; SiO₂ в анализе не указан.

² Из HCO₃'.

К сожалению, мы не имеем сейчас возможности выделить и изучить химически почвенный раствор. Пока наши сведения о химическом его составе лишь самого общего характера и не могут быть с необходимой точностью выражены количественно.

Но можно утверждать, 1) что почвенные растворы различны в разных почвах, т. е. что есть по крайней мере столько почвенных растворов, сколько есть видов почв, и 2) что в каждом почвенном растворе одновременно надо учитывать расслоение на растворы, отличные и физически и химически.

Можно считать установленным, — как я уже указывал — но не бесполезно подчеркнуть еще раз, что всегда наблюдаются по крайней мере три, а может быть четыре сосуществующих и закономерно связанных в почвенном растворе водных тел. Обычно говорят о нескольких различных состояниях воды в почве, но в действительности мы имеем в ней дело не с химически чистой водой, а с системой нескольких различных водных растворов, богатых коллоидами.

Каждый почвенный раствор есть сложное динамическое равновесие, неизбежно распадающееся под влиянием частичных сил на несколько между собою связанных, но не смешивающихся частей раствора.

В почвах и в подпочвах наиболее ярко проявляются частичные силы воды равновесия

вода $\rightleftharpoons$ твердое тело (§ 12).

Надо отличать воду „гигроскопическую“, облекающую под влиянием частичных сил каждую песчинку и каждую пылинку, каждый коллоидальный комплекс почвы. Наши знания об этой воде чрезвычайно недостаточны и чрезвычайно упрощены. На нее целиком переносят представления физико-химиков о характере таких тончайших пленок химически чистой воды. Между тем едва ли можно сомневаться, что мы имеем в почве дело с раствором; это должно быть менее ясно для той тончайшей пленки (по Родвальду одномолекулярной), которая облекает все твердые элементы почвы. Неясно отношение такой пленки к коллоидальным явлениям в почвенном растворе и в почвенных комплексах; здесь скорее можно было бы ждать химического ее отличия от мицелл. Надо было бы думать, что и в растворах эта гигроскопическая мономолекулярная пленка химически чиста подобно обратному явлению — мономолекулярным жирным пленкам на поверхности воды. Как бы то ни было, эта капиллярная пленка в почве неподвижна и может быть удалена (при нагревании до нескольких сот градусов выше температуры кипения воды) только путем испарения. Она удерживается твердым веществом с силою, исчисляемую в тысячи атмосфер на см² (от 6000 до 25000) (возможно, что она отвечает твердому льду VI).

Второй частью почвенной воды является вода „пленочная“, в которой резко проявляются те свойства поверхностного натяжения, которые ярко сказываются в пенистых, эмульсионных жидкостях, мыльных пузырях, на поверхностях всякой жидкости.

Здесь мы должны допускать характер этой воды, как раствора, возможно даже концентрированного. Мы вероятно имеем здесь дело с солеными или рассольными водными пленками. Эта вода охватывает уже значительную часть почвенного раствора, иногда больше 10—15% по весу, в песке, по А. Лебедеву, — до 2%. Для нее и для гигроскопической воды есть точный прием разделения — она не удаляется из почвы центрифугированием (400 и больше оборотов в секунду). Гидростатическое давление в ней не передается — „это как бы твердая жидкость“ (А. Лебедев. 1926). Она движется как жидкость — из слоя с более толстой пленкой в слой с более тонкой, и интенсивность этого движения не зависит от силы тяжести.

Главная масса почвенного раствора представляет обычную „гравитационную“ воду, в которой можно различать разные формы физического состояния (по А. Ф. Лебедеву — капиллярную, подвешенную, в состоянии падения).

Сложность этих водных систем еще более усиливается химическим разнообразием самих почв, в которых почвенные растворы создаются.

Совершенно очевидно, что в пределах всей биосферы должны существовать сотни разных почвенных растворов.

677. Сложный характер почвенных растворов сверх всего находится в постоянном изменении под влиянием двух факторов. Первым будут явления наземной жизни. Прежде всего — растительность, которая покрывает почву и постоянно извлекает почвенный раствор (прежде всего — гравитационную воду), меняя его химический состав, так как она разное извлекает его компоненты. Затем микроскопическая — животная и растительная — внутриводная почвенная жизнь, которая меняет до чрезвычайности газовый режим водных растворов почвы и сверх того вносит в него и берет из него разные компоненты, например, вносит ионы NO'_3 и NO'_2 и т. п. Эта водная микроскопическая жизнь (амебы, бактерии, грибы и т. п.) находится частью в взвешенном состоянии в почвенном растворе.

Не меньшее значение имеют в ее составе метеорные воды и связанное с этим испарение воды в тропосфере.

Находясь на поверхности планеты в неразрывной связи с тропосферой — в среде, проникнутой газами и парами воды, — жидкая почвенная вода непрерывно то уменьшается, то увеличивается в своем количестве, постоянно разбавляется метеорной и росяной водой.

Пределы возможных колебаний обуславливаются в первую очередь состоянием мелкозема почвы — его влиянием на капиллярные, пленочные и коллоидальные свойства проникающих его вод.

Максимальный предел обуславливается влагоемкостью почвы. Почва может сохранять в своем балanse, в зависимости от своей структуры, до 70 и больше % по весу воды. Эта вода берется из паров, проникающих и осаждающихся в почве, и из тех метеорных осадков — дождя и снега, — которые падают на нее из атмосферы.

Она уходит из почвы в пары почвенного воздуха и в пары тропосферы, берется живым веществом. Она поглощается и удерживается молекулярными силами почвенных частиц.

Эти силы ставят предел. Почва не может ни при каких естественных условиях ее бытия потерять последнюю воду. Почвенный раствор существует всегда — это есть проявление частичных сил почвы и воды, всегда находящихся на поверхности планеты — хотя бы в виде газа.

Ни вода гигроскопическая (обволакивающая ее частицы), ни вода пленочная (может быть часть?) никогда не теряются, всегда остаются в почве, составляют ее неразрывную часть. Это — явление, аналогичное природному сухому воздуху, никогда не теряющему всех водяных паров, или живому существу, ее всегда сохраняющему, пока жизнь в нем не разрушена.

Почва всегда проникнута газами, своей атмосферой, и эти газы всегда содержат водяные пары, поддерживающие и частичную и пленочную воду почвы. Самая сухая почва полупустынь содержит воду (удаляемую ниже $100-105^\circ \text{C}$) и следовательно содержит почвенный раствор. Редки почвы, содержащие менее 1,0% H_2O (например, сухие подзолы средней России), обычно воды гораздо больше, например, сухие черноземы содержат 4—8% H_2O ; почвы тропические и подтропические содержат в сухом состоянии гораздо больше, например, красноземы Чаквы — до 10% (9,9%). Реально в природе количество воды подымается до 40% и больше после дождей или таяния снега. Почвы свыше, чем с 15—25% воды, может быть, даже в наших широтах и зимою в тропических областях преобладают.

Почвенный раствор в почве всегда есть и сильно меняется. Обычно в нем более $10^{-1}\%$ твердых и жидких компонентов, и он является, с точки принятой здесь терминологии, соленым раствором, переходящим на солонцах и, может быть, солончаковых почвах в рассолы.

В обычной почве, повидимому, лишь временами — в дождливые периоды, может быть под снежным покровом, в наших широтах — он в целом является пресным.

678. Можно лишь очень неполно указать его состав: в нем играют большую роль органические вещества, частью находящиеся в виде золь, должно быть, алюмосиликатные золи, нитраты и карбонаты.

Для некоторых элементов можно дать и сейчас некоторые числа. По опытам американских почвоведов (F. Satterton, 1920) насыщенная водою почва дает для воды, выделенной центрофугой:

$$\begin{aligned} 5 \times 10^{-4} - 1,8 \times 10^{-3}\% \text{ P}_2\text{O}_5 \\ 9,1 \times 10^{-3} - 3,8 \times 10^{-3}\% \text{ K}_2\text{O} \\ 9 \times 10^{-4} - 8,3 \times 10^{-3}\% \text{ CaO} \end{aligned}$$

Числа эти колеблются очень резко для разных почв, например, для песчано-лесной почвы Норфолька: $5 \times 10^{-4}\%$ PO_4 , $1,8 \times 10^{-3}\%$ CaO , $3,1 \times 10^{-3}\%$ K_2O .

Эта концентрация предельно-малая; может быть, некоторое понятие о средней концентрации дадут числа, увеличенные в 5 раз (до $9,0 \times 10^{-3}\%$ P_2O_5 , $2,0 \times 10^{-2}\%$ K_2O , до $4,2 \times 10^{-2}\%$ CaO) и больше.

В главе о соленых почвенных водах я дам еще некоторые аналитические числа. В геохимии воды, во второй части, к этим вопросам еще вернусь.

Надо думать, что в скором времени будет дана возможность химически количественно определить состав гравитационной — и может быть пленочной — области почвенной водной системы, благодаря в значительной мере работе русских ученых — А. Дояренко, с одной стороны, и А. Ф. Лебедева, с другой.

Почвенные воды должны быть более или менее насыщены углекислотой (содержа и кислород) и являются в связи с этим очень энергичными изменителями окружающего их вещества.

Надо отметить, что на характере почвенного раствора должен очень отражаться микрорельеф. Почвенный раствор может резко меняться и в разрезе иметь мозаичную структуру. Количественных данных нет.

Воды — вероятно метаморфизованные — ископаемых почв совершенно не подвергались химическому изучению, несмотря на большой интерес, связанный с изучением их. Мы знаем их, начиная с каменноугольной эпохи (болотных почв). Для третичного и послетретичного времени ископаемые почвы уже нередки.

679. Совершенно не изучена группа вод подпочвенных, огромного значения, теснейшим образом связанная с одним из основных процессов биосферы — с выветриванием (§§ 604 – 605, 665 – 666, 673 сл., 699).

В виду того, что в настоящее время очень часто в почвоведении понятие подпочвы теряет то значение, которое оно имело прежде, например, как его понимал В. В. Докучаев, необходимо указать основания, заставляющие меня отделять почвенные воды от вод подпочвенных и с этой точки зрения сохранять в минералогической работе область подпочв как отдельную область явлений.

Она отличается по характеру вод и свойственным ей процессам выветривания очень резко и определено как от почв, так и от покровов планеты (§ 673), лишенных почв. В то же самое время она теснейшим образом связана с поверхностью суши и в геохорах занимает совершенно определенное, отличное от других тел природы, место.

Следующие явления здесь должны резко отражаться на свойствах и твердой и жидкой фаз подпочвенных горизонтов: 1) в подпочвенном

горизонте явления жизни — и бактериальной и грибной или животной, создающей в значительной мере почву, где они составляют по весу десятки ее процентов — отходят на второй план и должны в конце концов замирать. Соответственно первые продукты изменения отмерших организмов — являющиеся одновременно средой особой жизни и особых биохимических процессов — здесь тоже постепенно или быстро сходят на нет и в то же время в связи с газовым режимом сходят иначе, чем в почвенной среде. 2) Газовый режим подпочвы одновременно с уменьшением биохимических и биогеохимических процессов должен претерпевать сильное изменение. Здесь благодаря уменьшению кислорода (и азота?) должно увеличиваться процентное количество углекислоты: это область подклассов вод $\text{CO}_2\text{—N}_2\text{—O}_2$, постепенно переходящих в подклассы $\text{CO}_2\text{—N}_2$. В подпочвах мы приближаемся или входим в область постоянной температуры, независимой от метеорологических условий, так мощно влияющих на химию почвы. 4) Наконец, здесь начинает сказываться влияние верховодок.

Все это заставляет думать, что воды, проникающие рыхлые или вернее водопроницаемые твердые верхние отложения планеты, должны химически резко отличаться от почвенных вод, одинакового с ними физического строения. Это покажет дальнейшее исследование.

Если с точки зрения почвенных процессов является удобным не разделять морфологически почву от подпочвы, подпочвенные воды будут отвечать верхним волосным водам (§736) горных пород, своего рода капиллярным верховодкам.

Я, впрочем, не думаю, чтобы отождествление почвенных и подпочвенных явлений было правильно и с педологической точки зрения.

680. Область подпочвенных вод является аналогом только что рассмотренных вод областей биосферы, лишенной почвенного покрова (§673).

Она по массе является преобладающей по сравнению с этими водами, так как подавляющая часть суши покрыта почвами и подпочвами.

Она резко отличается от них тем, что ее химический состав должен быть резко своеобразен, так как ее воды отделены от тропосферы почвенными водами, с которыми они непосредственно соприкасаются и в которые непрерывно переходят.

Обе аналогичные области являются местом процессов выветривания, огромной важности явления биосферы. Процессы выветривания, играющие чрезвычайно важную роль в создании почвы — ее вещества, отнюдь не могут считаться ею охватываемыми.

Водные растворы играют основную роль в процессах выветривания. Такими растворами являются растворы, проникающие породы, лишенные почвенного покрова, и подпочвенные воды.

К сожалению, при современном состоянии науки состав вод так называемого выветривания биосферы можно сейчас вывести только косвенным путем, наблюдая исходные и конечные твердые продукты выветривания.

В огромной литературе о выветривании собрано много данных, которые выходят за пределы этой книги, ибо так полученные представления о водных растворах выветривания являются только схемами, требующими подтверждения и очень осторожного к себе отношения. Сейчас здесь точных научных фактов — настоящих чисел, можно сказать — нет. Анализ вод, где сосредоточено выветривание, точных для них чисел, нет.

Является настоятельной необходимостью изучить эмпирически, химически, те части таких вод, которые доступны исследованию.

Воды выветривания отвечают водам поверхностным, в частности, длительным лужам (§ 591), почвенным, подпочвенным и верхним пластовым (грунтовым) водам верховодкам. Из них почвенные и подпочвенные воды являются по массе господствующими. В них идут процессы выветривания в главной своей части. Организмы, вода, углекислота и кислород являются главными агентами.

Воды эти, как ясно из сказанного, должны непрерывно переходить в верхние части волосных вод, проникающие верхние части горных пород суши, прилегающие к подпочвам.

Область выветривания идет на несколько метров вглубь от почвы, местами до 100 метров и более. Вся область этих вод совсем не изучена. В учении о выветривании вместо изучения этих вод мы наблюдаем схемы, значения которых очень сомнительно.

В глинистых и мергелистых элювиальных и алювиальных отложениях, в лессовых и песчаных толщах мы имеем непосредственное продолжение подпочвенных вод. Изучение волосных вод и влажности лессовых пород, моренных и рыхлых глинистых толщ Евразии и Северной Америки, тропических и подтропических элювиальных рыхлых масс, горизонтов вечной мерзлоты и т. п. является первой задачей исследования.

Для лессовых и „лессовидных“ масс мы знаем, что они пронизаны легко растворимыми солями и всякий раз во влажном состоянии должны давать капельно жидкие и волосные пресные воды, а в сухом — волосную сеть соленых и рассольных вод.

Огромное значение в строении и составе этих вод имеет мощный процесс непрерывно идущего, связанного с барометрическим давлением тропосферы и верхней подземной их части колебания уровня верхних вод, верховодки.

Не только эти движения, но и климатические условия и в частности — характер солнечных и радиоактивных излучений должны сказываться на свойствах и составе этих вод, в значительной мере являющихся коллоидальными водами (ср. § 662).

Благодаря этим колебаниям уровня верховодок, может идти включение в эти воды выветривания компонентов ископаемых морских иловых вод, являющихся основной частью волосных вод осадочных пород.

Строение подпочвенных вод должно быть одинаково со строением почвенных и пластовых вод, т. е. состоять из неразрывной системы трех разных вод основного водного равновесия (§12).

681. Точно также мало изучено семейство иловых вод, связанное с илом пресноводных водоемов — озер, рек. Как указывалось (§ 645), во всяком водоеме необходимо отличать придонную воду от воды более близкой к поверхности. Придонная вода соприкасается с иловой и находится с ней в непрерывном химическом взаимодействии.

Анализы пресной иловой воды — несмотря на их значение для целого ряда научных и жизненных проблем — мне кажется, не делались. Скольконибудь новых — нет. Повидимому изменение воды иловой по сравнению с обычной водой водоема должно быть связано с характером дисперсности ила. Для тонких илов (С. Щукарев и С. и О. Косманы. 1929) объем воды доходит до 4—19 объема сухой грязи.

Ил водоемов переполнен жизнью, являющейся основным фактором ее создания; ил резко распадается по газам на два слоя, которые очевидно должны отличаться и по воде, им отвечающей: верхний слой — целоген — обычно очень тонкий — содержит часто кислород (если он сохраняется в данной воде), и более глубокие нижние части илов, лишенные кислорода. Подкласс верхней иловой воды нормально отвечает формуле $\text{CO}_2\text{—N}_2\text{—O}_2$, а подклассы нижней — $\text{CO}_2\text{—N}_2$, $\text{CO}_2\text{—N}_2\text{—CH}_4$, $\text{CO}_2\text{—N}_2\text{—H}_2\text{S}$.

Анализы этих вод (с их газовым содержанием) требуют внимания, так как эти воды играют видную роль в создании сапропелей и их дальнейших производных и той солевой части, которая сохраняется в пластовых и волосных водах в осадочных породах.

Очевидно, число видов иловых вод значительно: для каждого вида пресной воды есть по крайней мере два их представителя.

Коллоидальный характер иловых вод выражен много значительнее, чем почвенных (ср. соленые иловые воды — § 868).

681-А. Среди иловых вод требуют особого внимания сейчас иловые воды сапропелевых озер. Несмотря на специальные исследования сапропелей, у нас нет ни одного научно-точного анализа сапропелевых озерных иловых вод. Между тем этот анализ должен дать важные данные для познания генезиса сапропелей.

Работы В. В. Алабышева (1932) явно указывают на определенный зональный характер озер, сапропелевых озер в частности, и на разный химический характер их осадков.

В пресноводных озерах можно различить, как верно указывает Алабашев, обычные сапропели, известковые сапропели, кремнеземистые сапропели, сапропели, в которых отлагаются озерные железные руды (т. е. железно-марганцовые).

Очевидно все эти илы имеют свои различные воды, о которых мы не имеем никакого понятия. Необходимо, чтобы этот пробел наших знаний был возможно быстро пополнен.

682. Очень мало изучены воды второго подцарства пластовых вод. Оно характерно для биосферы и для стратисферы.

Несмотря на огромное, первостепенное значение для человека, эти воды не только плохо изучены химически, но изучены плохо и морфологически.

Я вернусь к этим явлениям ниже — во второй части книги; здесь же могу только остановиться на них, поскольку это необходимо для общего химического обзора природных вод.

Пластовыми водами я называю воды, которые и в науке и в общепитии сейчас называются разное — грунтовые (верховодка), артезианские, буровые, напорные и т. п. Для них характерно то, что 1) они связаны с осадочными, обломочными и туффовыми — водопроницаемыми — породами и что 2) они проникают эти породы, заполняя в них все их пустоты, их малейшие поры. Очевидно в более рыхлых, менее сдавленных породах их будет больше. Есть осадочные породы, бедные этими водами или совсем их лишенные — водонепроницаемые породы, например многие глины.

Эти воды находятся в глубине суши и под прилегающими частями морей — шельфа, приконтинентальных морей, в осадочных породах морского дна, где они должны иметь своеобразный характер, нам неизвестный, так как там они лишены верховодок, связанных с тропосферой, и отрезаны от метеорных вод.

На суше мы должны различить области, где в связи с подземным рельефом и с геологическим строением или развиваются или не развиваются пластовые воды. Всюду, где близко к земной поверхности или на самую земную поверхность выходят массивные и кристаллически слоистые породы, глубоких пластовых вод нет; это значительная часть суши. В этих частях земной коры встречаются только верховодки, но это верховодки особого типа. Это область вод подземных водоемов (§ 706).

Пластовые воды выражены были слабо и в форме, неудобной для пользования, а потому и не изучены в горных странах. Здесь при резком нарушении падения пород стратисферы и их разбития на части — выступают резко явления метаморфизации, обычно геологически сводящие на нет осадочные породы.

Они не подходят к земной поверхности и не являются мощными в разбитых глубоко денудацией плоскогорьях или же где внутреннее распределение слоев не дает возможности скапливаться водам в значительные массы и собирать в осадочных проницаемых породах метеорные воды с больших поверхностей суши.

Только в тех случаях, когда в подземном разрезе водопроницаемые бассейны образуют большие области рельефа, отрицательного к поверхности, в виде водоемов, синклиналей, огромных сплошь заполненных такими породами чашеподобных углублений, дно которых образовано водонепроницаемыми породами, мы встречаемся с обилием пластовых вод

в земной коре. Огромное жизненное значение имеют подземные большие пластовые бассейны континентов. К ним я вернусь во 2-й части.

683. При таком распределении пластовых вод, считаясь с указанным значением их вертикального распределения в земной коре, можно для этого подцарства различить следующие семейства:

- I. Пластовые воды биосферы:
 1. Верхние воды — частью верховодки (грунтовые воды).
 2. Нижние пластовые воды биосферы, иногда напорные.
- II. Пластовые воды стратисферы:
 3. Верхние пластовые воды стратисферы.
 4. Напорные воды стратисферы.

Несомненно эта классификация в дальнейшем изменится и расширится, но при современном состоянии знаний уточнять семейства (их конечно не два) мы не можем.

В этой области явлений, где мы не можем непосредственно наблюдать подземные водоемы, а только можем о них умозаключать, не вошли в общее научное понимание даже самые основные о них представления.

Это видно очень ярко уже в том, что — по отношению к пластовым водам — мнения о характере их водовместилищ до сих пор чрезвычайно колеблются: с одной стороны, их представляют подземными озерами, реками и т. п. водами, аналогичными поверхностным, — т. е. исключительно почти скоплениями капельножидкой воды, заполняющей или собирающейся в соответственных подземных пустотах (напр. Принтц. 1921); с другой — они выявляются, как проникнутые и охваченные медленно движущейся водой водопроницаемые породы (подземные сдавливаемые грязевые потоки), при чем капельножидкая вода не собирается в сколько нибудь значительные объемы. Она проходит через эти породы благодаря силе тяжести или давлению оказываемому на эти породы газами, вышележащими породами и орогенетическими процессами. Вода в своей характерной структуре сложная — капельножидкая, пленчатая и гигроскопическая (§ 12) — заполняет поры и пустоты рыхлых сдавленных пород, при чем эти поры часто не видны глазу и становятся мельче — сдавленное — по мере углубления залегания подземных вод.

Очевидно, на основании принципов проводимой здесь классификации, растворы подземных водоемов, где резко господствует капельножидкая вода (аналогично наземным водоемам), должны быть резко отделены от пластовых вод по крайней мере в другое подцарство.

Подземные реки, озера, водные заполнения трещин и отдельных пустот в породах, часто наблюдаемые, геологическая роль которых очень велика, взятая в целом — и по своему генезису и по своему строению и химии отличны от пленчатогравитационных пластовых вод.

684. Повидимому, это отличие очень резкое, хотя это утверждать нельзя, так как возможны переходные случаи. Эти случаи возможны для пластовых вод биосферы, для верхних их частей, например для вод, проникающих крупные галечниковые отложения.

В огромном большинстве случаев пластовые воды, проникающие водопроницаемые породы — пески, песчаники, мергеля, известняки и т. п., — резко отличаются от вод почвенных и вод поверхностных. Их движение, обычно очень медленное, тесно связано с структурой, положением, с наклоном водопроницаемых пород. Все тектонические их изменения, складки, сдвиги, трещины, все перемещения их наклона отражаются на свойствах этих вод, вызывая, например, временами в трещинах выделения их капельножидкой части.

Одним из характерных отличий их вод является их чрезвычайная неоднородность: всюду образуются застой, и идут медленные реакции с окружающей породой и с ископаемой иловой водой — частью мета-

морфизованной. В тех огромных плоских синклиналях, которые характерны для больших площадей Евразии, пластовые воды в центральных частях подземного рельефа на „дне“ пластовых бассейнов должны быть почти неподвижны (Б. Личков для Украины). Разнородность пластовых вод до известной степени сглаживается в той капельножидкой их части, которая доходит до нас — но она может быть часто выявлена, если изучаются воды близких скважин.

Явление химически не изучено.

Не изучено в нужной степени для пластовых вод, далеких от поверхности, и свойственное этим водам их движение.

Здесь надо различать движение самой воды и медленное движение породы, как грязевого подземного потока. Последнее сказывается лишь в долгие промежутки времени (и в верхних горизонтах), но, очевидно, должно отражаться в химическом составе пластовых вод.

685. Пластовые воды теснейшим образом связаны с водами поверхностными и прежде всего — с водами метеорными (§ 696).

Для пластовых вод биосферы — верховодок — метеорная вода (и лужи — § 590) является очень важной составной частью. Для глубоких биосферных пластовых вод значение метеорных вод падает — но оно сохраняется и глубже биосферы для пластовых вод стратисферы, постепенно сходя на второй план или проходя долгий путь, во время которого метеорные исходные воды глубоко химически меняются (метаморфизуются), превращаясь пока дойдут до пласта, в новые, резко отличные от метеорных, воды. Верховодка связана с тропосферой, от которой все остальные пластовые воды отрезаны.

В пластовых водах стратисферы начинают преобладать — тем больше, чем глубже — сжиженные водяные пары, все более высокой температуры по мере углубления, связанные с метаморфической оболочкой, — частью исходящие из магматических очагов, но в большой своей массе из паров всех вод нижних частей биосферы и всей стратисферы, постоянно выделяющихся во все пустоты — в том числе и мельчайшие, в них находящиеся — т. е. из водных паров подземных атмосфер. Этот источник поднимающихся снизу водяных паров имеет значение и для пластовых вод биосферы и для вод подземных водоемов (например, в области массивных пород), но здесь к ним всюду прибавляются более холодные воды подземного продолжения тропосферы.

Сжижение связано прежде всего с тем, что в подземных атмосферах по мере углубления водяной пар должен играть все большую роль, и температура их в доступных нашему непосредственному изучению областях явлений все повышается. Попадая в верхние более холодные слои, подземные атмосферы неизбежно выделяют капельно-жидкий водный раствор.

Для верховодок огромное значение имеют воды почвенные и подпочвенные разного рода. Для них метеорные воды получаются из ближайшего, по отношению к их выходу, района.

Для более глубоких пластовых вод главный источник метеорных вод может отстоять (в проекции на земную поверхность) на сотни километров в сторону от мест нахождения воды.

686. Среди пластовых вод резко должны быть отделены верховодки — верхние ближе лежащие к земной поверхности их горизонты. Они во многом проявляют важные особенности.

Прежде всего эти воды через колодцы и источники находятся в непосредственной связи с тропосферой, тогда как для прочих пластовых вод такой непосредственной связи нет, и они лежат всецело в подземных атмосферах. Затем водный режим верховодок, в подавляющей их массе, определяется условиями современной картины земной поверхности, современными метеорными и покровными водами. Режим более глубоких пластовых вод мало зависит от земной поверхности; метеорный современный

режим суши на них мало влияет; они являются проявлением геологической инерции — древних ископаемых метеорных и покровных вод.

Влияние современных условий — геохор (§ 561) — должно сказываться в верховодках, оно должно отсутствовать для более глубоких пластовых вод.

Мы имеем здесь огромную, почти не затронутую научной мыслью и еще меньше затронутую научным наблюдением, область явлений. Верховодки — характерная черта геохор и зонального характера физико-географических и биологических явлений биосферы; они всецело ими захвачены. Изучение поверхностных явлений дает ясные указания на характер этих вод. Так из работ И. Крашениникова следует, что в умеренно влажных разнотравных степях уровень верховодок высокий; пресные и соленые верховодки — и их проявление, пресные и соленые озера — одновременны, т. е. верховодки дают мозаичную структуру; пресная речная сеть редка, но полноводна. В сухих ковыльных степях уровень верховодок глубже, они беднее водой. После половодья пресные озера — впадины, летом солончаки. Озера бессточные, большей частью солены. В пустынных поливных степях они большей частью соленые. Бесчисленны эти явления — но очевидно закономерны и могут быть точно охвачены научной мыслью, когда география геохор будет установлена. Для познания верховодок это основная работа. Химия этих явлений находится в зачаточном состоянии.

Повидимому можно будет точно определить предел и характер влияния геохор в глубь земного водного режима, обратив внимание, как это один из первых сделал Б. Л. Личнов (1931), на уровень эрозии. Верховодки связаны в своем режиме с современным уровнем эрозии, — прочие пластовые воды им не затронуты. К этим явлениям я надеюсь вернуться во второй части книги.

687. Человек произвел в этих водах не меньшее, вероятно большее изменение, чем в поверхностных водах. Он чрезвычайно изменил — и все больше изменяет — их установившийся многотысячелетний — иногда геологически древний (например, в Сахаре или в Австралийских пустынях) режим. Он дал бурением выход им на земную поверхность, и эта работа все увеличивается в темпе и в значении.

До него путем выхода, при движении земных масс, на земную поверхность в биосферу „источников“ лишь небольшое количество напорных вод и огромное количество верховодок входило вновь в поверхностный круговорот. Круговорот менялся этим путем только геологически — т. е. исторически очень медленно в связи с передвижениями земных слоев. Сейчас здесь создается все больший и больший вынос подземных вод на земную поверхность человеческим усилием уже не в геологическом, а в историческом разрезе времени.

688. Выходящие на поверхность суши источники или буровые скважины далеко не всегда позволяют отличать разные семейства этих вод и даже отличать их от вод других подцарств — например, минеральных источников (ср. § 710).

Этим создается значительное затруднение при толковании анализов, с которыми мы имеем дело.

Эта трудность связана не с сутью дела, а с незначительной изученностью этих явлений и с недостаточной точностью обычной гидрогеологической и геологической работы. Разные воды смешиваются в описаниях вместе, физический и химический их анализ обычно совсем не делается. Самые основные данные отсутствуют.

Точное определение температуры, количественный анализ растворенных газов (т. е. характер той подземной газовой атмосферы, откуда приходит вода), наконец положение воды в определенной геосфере — в биосфере или в стратисфере — в частности обычно совершенно остается без внимания.

Правда, сейчас, когда столь важная черта строения ближайшей части земной коры, как уровень кислородной поверхности, обычно нам неизве-

стен — это сделать не всегда легко. Но все же подойти к решению вопроса всегда возможно.

Благодаря этому, мы сейчас не можем точно и безошибочно распределить и имеющиеся неполные химические анализы по семействам и подклассам подземных вод.

689. Всюду — для всех подземных вод — мы имеем закономерную смену подземных газовых атмосфер в вертикальном разрезе планеты, при чем поверхность, отделяющая одну атмосферу от другой, не является математически идеальной, а есть подвижная сложная фигура, вероятно находящаяся в непрерывном медленном движении и изменении.

Все поверхностные воды ограничены одной и той же — в общем всюду одинаковой — газовой атмосферой — тропосферой. Эта тропосфера отрезана от подземных вод: она отрезана поверхностными твердыми породами и прежде всего почвенным и подпочвенным покровом, обладающим своей атмосферой, чрезвычайно богатой углекислотой и парами воды. Состав этой атмосферы всегда резко отличен от тропосферы.

Тропосфера (в убывающем порядке): $N_2 - O_2 - H_2O - CO_2$.

Почвенная атмосфера (в убывающем порядке): $CO_2 - N_2 - O_2 - H_2O$? (может быть в иные моменты вода стоит на втором месте?).

В подпочвенной атмосфере CO_2 увеличивается, O_2 уменьшается.

Количественное определение растворенных газов всегда позволит точно определить характер той подземной газовой атмосферы, откуда вода приходит.

В стратисфере и ниже подземные атмосферы повидимому в главной своей части состоят из водных паров, из газов, к ним примешанных, глубже всего, вероятно, идут углеводороды и может быть азот (§ 690).

Подземные газовые атмосферы, вероятно, очень меняются в разных участках суши.

690. Подземные воды в подавляющей своей части лишены и другой основной черты газового режима наземных вод: они неизбежно на некоторой — разной — глубине лишены жизни. Из области биосферы они переходят в область стратисферы.

В общем эта граница кажется резкой и всегда может быть точно определена, хотя бы потому, что основным фактором газового режима вод является мельчайшая, микроскопическая жизнь, область изучения которой — микробиология — вся охвачена точной физико-химической методикой.

Отсутствие жизни сразу и резко меняет газовый режим подземных вод по сравнению с водами наземными и верхними подземными.

Повидимому, раньше всего исчезает аэробная жизнь и еще раньше биохимический синтез кислорода, требующий света.

Глубже всего идет анаэробная жизнь, создающая сероводород.

Верховодки все лежат в биосфере в области жизни. Анаэробная жизнь в них всегда есть, когда есть сообщение с тропосферой; присутствие хотя бы малого количества кислорода дает возможность и аэробной жизни.

Сейчас биологическое главным образом микробиологическое изучение пластовых вод есть задача дня, ибо все указывает на очень глубокое распространение анаэробной жизни в пластовых водах. Предел должно быть кладет температура.

Для окончательного суждения нет наблюдений.

691. Хотя газовые подземные атмосферы не меняются одинаково правильно с глубиной в разных местах на одном уровне от центра земли и хотя мы их знаем очень плохо, — все же общий порядок смены газов с глубиной может быть указан и он выдерживается на огромных пространствах (§ 218, 232 сл.).

По всему, что мы знаем, можно установить, что раньше всего исчезает свободный кислород — повидимому в пределах верхней части коры выветривания.

Быстро начинает выступать на первое место углекислота, которая однако с углублением является неустойчивой в газообразном состоянии (в пределах биосферы).

Глубже идет азот — однако и для него все увеличиваются указания на его уменьшение в более глубоких водах.

Возможно, что в глубинах выступают углеводороды, гл. обр. метан. Возможно, что количество газов (помимо газообразной воды) в пределах тех нескольких километров, с которыми мы имеем дело в стратисфере, вообще уменьшается.

Задача ближайшего будущего выяснить это явление. Это может быть сделано систематическим количественным определением во всех подземных водах растворенных в них газов.

692. Мы должны учитывать такое крайне неполное и несовершенное наше знание химии подземных вод, когда мы подводим ему итоги.

Но даже воды, химически исследованные, не дают сколько-нибудь достаточно полного представления о пластовых водах в месте их нахождения. Ибо до нас доходят и подвергаются химическому анализу лишь части этих вод — капельно-жидкие. Воды гигроскопическая и пленчатая равновесий „твердое тело $\rightleftharpoons$ природный раствор“ (§ 12) нам недоступны.

Химически все эти три воды не могут быть одинаковы, но явление это до сих пор не изучено. Нужных фактов нет.

693. Своеобразный характер пластовых вод выступает все резче по мере того, как мы углубляемся в стратисферу. В ней явно преобладают соленые воды, однако есть и пресные. Точное определение границы соленых и пресных (resp. рассольных) пластовых вод является сейчас очередной и важной задачей для выяснения истории природных вод.

Сейчас мы это точно сделать не можем.

По мере углубления пластовые воды меняются в своем характере и в своем составе. Два явления должны быть отмечены: 1) эти воды становятся с глубиной напорными — обладают в биосфере давлением (§ 592), в значительной мере в связи с положением проникнутых ими подземных пород и с их выходом на земную поверхность, нередко очень далеко от места исследования данной пластовой воды, и 2) значение в их составе метеорных вод быстро уменьшается с глубиной, частью потому, что метеорные воды должны химически сильно изменяться, пока они дойдут в донную воду.

В напорных водах большое значение приобретают для соленых вод метаморфизованные остатки древних донных и иловых морских вод осадочных пород, а для пресных — водяные пары подземных атмосфер.

694. Глубже верховодок, пластовые воды обладают давлением (напорные воды), независимым от барометрического давления наземной атмосферы, которому подчинены верховодки.

Одно из проявлений напора — давление — дало повод называть их артезианскими (от французской провинции Артуа, откуда в средние века пошла в Западной Европе техника бурения, добыча глубоких пластовых вод). Артезианские воды, под влиянием давления, выходят на поверхность биосферы и иногда бьют фонтаном. В общем для очень многих из них явление ясно связано с геологическим строением и точно объясняется свойствами жидкостей — законами гидростатического давления.

Однако давление напорных вод не только гидростатическое — оно вызывается и другими причинами; это явление сложное, связанное и с газами и с напором все более горячих с глубиной подземных атмосфер, с общим проявлением силы тяготения — давлением вышележащих слоев на водоносные — и с движением земной коры (§ 299 см. ниже).

Углубляясь в земную кору, выходя за пределы кислородной поверхности, входя в область высокой температуры, постепенно увеличивающейся, и подземных атмосфер отличного от тропосферы состава, напорные воды подвергаются медленной и непрерывной метаморфизации.

При этом они неизменно и обычно довольно быстро теряют свой пресный характер и переходят в воды соленые.

Нельзя забывать, что пластовые воды — геологически длительные явления.

Я уже указывал, что поверхностные воды нашей биосферы в иных случаях существуют с середины третичного периода, может быть раньше — десятки миллионов лет.

Пластовые же воды стратисферы могут оставаться на своих местах — постоянно метаморфизуясь — дольше. Возможно, что правы те геологи, как Грегори, которые считают, что в огромных подземных соленых пластовых бассейнах Австралии (§ 856) человек выводит на земную поверхность образования мезозойской эры.

Пластовые воды, добываемые сейчас бурением в Южной Африке, по очень правдоподобному заключению Пассаргэ, отвечают климатическим явлениям, существовавшим на ее поверхности в плейстоценовую эпоху, в плювиальный период, отвечавший оледенению Евразии.

695. Солеными на некоторой определенной глубине становятся пластовые воды неизбежно, не только благодаря метаморфизации.

Они сами являются частью того механизма земной коры, который связан с круговоротом вещества между гидросферой и сушей. Одна из самых существенных частей компонентов пластовых вод получена ими из морской воды.

Проникнутые ими породы — в подавляющей массе древние измененные морские осадки, несущие в себе остатки донной и иловой вод древних морей и бывших в них солей. И те и другие входят в конце концов в состав пластовых вод (560 А).

Осадочные породы, образовавшиеся на суше, играют в стратисфере вторичную роль и тоже очень часто являются солеными, так как связаны с сухими и жаркими областями суши — с бессточными областями, где скопляются осадки — областями солонцовых почв и соленых озер.

Эти области суши сами часто являются частями того же механизма, так как находящиеся в них осадочные породы являются очень часто, можно сказать обычно, в бессточных областях суши — остатками замирающих морских бассейнов, переходящих в породы суши.

696. Они позволяют видеть (в части своих проявлений) тот процесс выщелачивания молодых морских отложений, попавших в царство наземных вод суши, в котором соленые волосные воды пород и соленые,

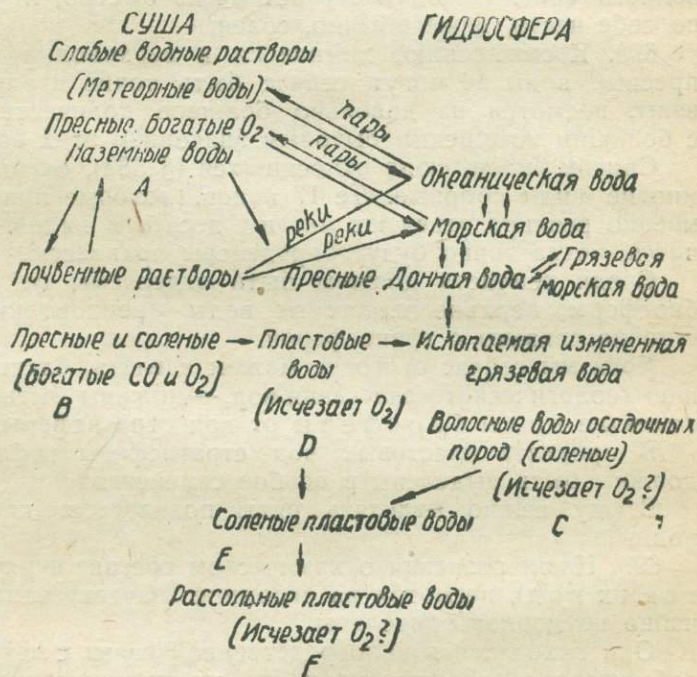


Рис. 10. Схема пластовых вод биосферы и стратисферы.

т. е. содержащие растворимые соли, морские осадочные породы превращаются в пресные осадочные породы с пресными волосными водами.

Только верхние части морских осадочных пород, прошедшие в своей истории через биосферу, освобождаются от остатков донной и иловой морской воды и могут при образовании пластовых вод — при проникновении метеорных вод — дать начало пресным пластовым водам.

Ниже относительно небольшой глубины в стратисфере — а иногда и в биосфере — могут существовать только соленые пластовые воды (§ 561).

Пресные образуются лишь в пределах выщелоченных морских осадочных пород.

697. Схема на стр. 369 (рис. 10) дает понятие о механизме образования пластовых вод биосферы и стратисферы.

Конечные воды F — мало известны. Они встречены при некоторых глубоких бурениях (в этих водах характерны компоненты CaCl_2) — но область соленых вод наступает очень быстро, и уже стадии B и C сами по себе часто, даже обычно, соленые.

698. К сожалению, химически и верховодки и напорные пластовые пресные воды не могут сейчас быть точно и определенно характеризованы, несмотря на довольно большое количество анализов, связанных с большим житейским бытовым значением этих вод.

Список видов, сюда относящихся (§ 382), очень несовершенен, так как многие виды сборные. Те 17 видов, которые приведены в списке, несомненно реально отвечают многим десяткам видов. Число это еще увеличится, когда точно будут определены подклассы.

Среди семейств должны быть отделяемы от других пластовых вод биосферы верхние пластовые воды — верховодки; они одни непосредственно связаны с тропосферой.

Хотя мы сейчас этого не можем сделать, благодаря неполному описанию геологического залегания вод, — должны быть отделены нижние пластовые воды биосферы от вод стратисферы.

В пределах пластовых вод стратисферы нефтяные пластовые воды должны быть выделены в особое семейство.

Всюду важно отделять ряды подклассов: кислородный и бескислородный.

699. Наши познания о химическом составе верховодок (верхних грунтовых вод), несмотря на огромное значение этих вод в жизни, чрезвычайно неудовлетворительны.

Они находятся в непосредственной связи с метеорными водами. В них собираются метеорные воды при их проникновении в почву и подпочву. Они находятся в некоторой связи с тропосферой, что сказывается в том, что уровень их отражает ход барометрического давления.

Многочисленна их связь с поверхностными водами — многие топи, ручьи, родниковые воды (§ 597) являются их выходом на земную поверхность. В бесчисленных колодцах человек связывает верховодки с водами метеорными и с тропосферой.

Огромно влияние на них почвенных и подпочвенных вод; между глубокими горизонтами подпочвенных вод и верховодками есть реальные переходы. Подпочвенные воды, связанные с подземной росой, находятся с ними в непосредственной связи.

Наземная растительность — например, леса, степные травы — проникают в верховодки, меняют состав их вод, вынося (избирательно) их компоненты на поверхность биосферы.

700. Состав компонентов верховодок создается еще более сложным путем.

Если часть его приносится водами метеорными, почвенными, водами беспочвенных поверхностных покровов, т. е. связана с выветриванием (§ 679), другая происходит из наземных вод, тесно связанных с наземной жизнью и с выщелачиванием (§ 606).

В некоторой части всегда входят в состав верховодок „ископаемые“ морские иловые воды, оставшиеся на месте после поверхностного выщелачивания морских осадочных пород (§ 784). Возможна связь с верхними водами подземных водоемов, подходящих близко к земной поверхности (§ 679).

Во всех этих случаях мы сталкиваемся с выветриванием, и надо думать, что роль в процессах выветривания вод верховодок основная, не меньшая, чем вод подпочвенных (§ 706).

Повидимому это явление имеет место особенно в тропических и подтропических областях, где мощность выветрелых слоев, особенно в областях влажных, чрезвычайно велика. Массивные и метаморфические породы и их верховодки проникают здесь глубоко, иногда на сотни метров от земной поверхности.

Эта область вод химически совсем не изучена.

Здесь необходима работа точного химико-физического изучения этих вод — непочатая и благодарная область исследования.

Изучение их должно идти в тесной связи с географическим элементом природы — с геохорами (§ 561).

Точное количественное, химическое изучение этих явлений имеет первостепенное значение и для почвоведения, и для геологии, и для минералогии. Основной процесс выветривания — история силикатов и алюмосиликатов коры выветривания — теснейшим образом связан с тщательным изучением — в указанном аспекте — верховодок. Но и образование целого ряда других минералов коры выветривания (напр. сульфатов) идет здесь, причем часть этих реакций, и повидимому очень значительная, идет в верховодках и в связи с верховодками. Происходит не только выпадение из растворов, но идут и сорбционные явления: переработка и химический обмен охваченных верховодками горных пород. Здесь область образования леверрьеритов, переработка главконитов, образование ярозитов. Минералогически эти процессы изучены очень недостаточно.

701. Газовый режим верховодок определяется соотношением между кислородом и углекислотой.

Они содержат кислород только тогда, когда они находятся в непрерывном общении с тропосферой. Это, в общем, имеет место только для некоторых из них и обычно на небольших протяжениях.

Хотя кислородная поверхность биосферы (I, § 240) проходит через верховодки, — эти воды все же обеднены кислородом по сравнению с поверхностными водами. Его содержание, вероятно, одного порядка с кислородом дождевых вод. Для вод Гольштейна (А. Тинеманн, 1924) процент его колеблется в пределах 3—45% насыщения кислородом при данной температуре; они содержат от $4,2 \times 10^{-5}\%$ до $5 \times 10^{-4}\%$ кислорода по весу. В верховодках хвойных лесов Швеции количество его, по Гессельману и Мальмстрему, от $4,0 \times 10^{-5}$ до $1,1 \times 10^{-3}\%$; он быстро сходит на нет.

Кислород может исчезать нацело уже на немногих десятках метров — может быть, на 10—15 метрах глубины. Ниже воды должны были бы перейти в воды азотно-углекислые — но немногие верховодки, которыми мы располагаем, указывают на резкое преобладание CO_2 .

Повидимому — вероятно под влиянием жизни — преобладание CO_2 становится все более ярким по мере того, как мы приближаемся от почвы и подпочвы через осадочные породы биосферы к стратисфере. Для O—C—Ca вод есть следующие определения растворенных газов (в весовых процентах) для окрестностей Иены и Веймара (С. Ehrhardt и E. Reichardt, 1875): CO_2 — $5,5 \times 10^{-3}$ — $3,8 \times 10^{-3}$, N_2 — $2,4 \times 10^{-3}$ — $1,9 \times 10^{-3}$, O_2 — $1,1 \times 10^{-3}$ — $8,6 \times 10^{-4}\%$.

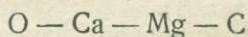
702. Химически в этих водах — в отдельных видах — выступают ионы Ca^{++} (отчасти Mg^{++} и Fe^{++}) и Na^+ , SO_4^{--} , Cl^- , HCO_3^- (отчасти CO_3^{--}).

Вероятно будут выделены многочисленные виды верховодок в зависимости от преобладания в данной местности того или иного из основных процессов: выветривания, разъедания или ископаемой воды осадочных пород, сорбционных процессов. Геоморфологические условия должны сказываться очень сильно.

Сейчас можно отметить:

1) карбонатные воды Mg и Ca, при чем эти воды содержат небольшой избыток CO_2 (подвижный), вызывающий в коллоидальном растворе, какой представляют из себя эти воды, при замирании их, выпадение карбонатов Ca и Mg. Этот процесс, на значение которого указал Тильманс, повидимому играет большую роль в биосфере; 2) кремневые воды, при чем часть кремния входит в коллоидальные мицеллы SiO_2 , наконец 3) воды $\text{Na}-\text{Cl}-\text{S}-\text{C}-\text{O}$ и 4) $\text{Ca}-\text{S}-\text{O}$. Этот перечень далеко не исчерпывающий.¹

703. Как пример воды карбонатной можно привести одну из верхних вод в рудном районе Мичигана, воду:



Твердый остаток: $1,0 \times 10^{-2} - 2,8 \times 10^{-2}$

Элементы

O² $1,4 \times 10^{-2} - 1,7 \times 10^{-3}$

Ca $7,9 \times 10^{-3} - 1,5 \times 10^{-3}$

C³ $3,8 \times 10^{-3} - 8,4 \times 10^{-4}$

Mg $2,2 \times 10^{-3} - 9,6 \times 10^{-4}$

Cl $6,0 \times 10^{-4} - 4,0 \times 10^{-4}$

Na $4,0 \times 10^{-4} - 1,9 \times 10^{-4}$

S⁴ $4,0 \times 10^{-4} - 3,3 \times 10^{-2}$

Si⁵ $3,8 \times 10^{-4} - 2,8 \times 10^{-4}$

K $1,5 \times 10^{-4}$

Fe $8,4 \times 10^{-5} - 2,0 \times 10^{-5}$

Al $3,1 \times 10^{-5}$

704. Сульфатные и хлористые воды местами играют заметную роль среди колодезных (верховодки) и пластовых вод биосферы вообще.

Среди них можно выделить карбонатно-сульфатные воды. В них преобладает то Ca, то Na, то Mg.

Состав (в %) воды:



Твердый остаток: $2,3 \times 10^{-2} - 8,9 \times 10^{-2,0}$

Элементы

O⁶ $4,3 \times 10^{-2} - 2,5 \times 10^{-2}$

S⁷ $1,2 \times 10^{-2} - 2,6 \times 10^{-4}$

Mg $2,2 \times 10^{-2} - 2,5 \times 10^{-3}$

Ca $1,3 \times 10^{-2} - 2,9 \times 10^{-3}$

Na $1,1 \times 10^{-2} - 1,9 \times 10^{-3}$

¹ Есть еще воды верховодок, для которых к сожалению отсутствуют какие бы то ни было химические данные — это 1) верховодки, связанные с чернобурными поверхностными водами § 621) и 2) верховодки в областях вечной мерзлоты.

² Из CO_3'' (до $1,7 \times 10^{-3,0}$), SO_4'' (до $1,2 \times 10^{-3,0}$), SiO_2 (до $8,4 \times 10^{0,0}$).

³ Из CO_3'' .

⁴ Из SO_4'' .

⁵ Из SiO_2 .

⁶ Из почв SO_4'' (до $3,7 \times 10^{-2,0}$), SiO_3'' (до $1,3 \times 10^{-3,0}$), HCO_3' (до $2,7 \times 10^{-2,0}$). Газообразный O_2 не принят во внимание.

⁷ Ион SO_4'' .

Cl	$6,0 \times 10^{-3}$	—	$6,0 \times 10^{-4}$
C ¹	$4,6 \times 10^{-3}$	—	$1,5 \times 10^{-3}$
Si ²	$4,7 \times 10^{-4}$	—	$3,8 \times 10^{-4}$
K	$4,7 \times 10^{-4}$	—	$4,0 \times 10^{-4}$
H ³	$4,4 \times 10^{-4}$	—	$2,0 \times 10^{-5}$
N ⁴	$8,9 \times 10^{-5}$		

Орган. вещ. ⁵ $2,8 \times 10^{-3}$

705. По мере углубления в пластовых водах отпадает влияние метеорных, почвенных вод, процессов выветривания и резко выступают морские компоненты осадочных пород и выпадения подземных атмосфер (§ 690).

К сожалению, современный материал не дает возможности проследить изменение химического состава пресных вод, как функцию глубины.

Общий химический состав пресных вод глубоких колодцев и бурений до глубины 200—250 метров виден из ниже приводимой таблицы. Она сохраняется в общем и для более глубоких вод, как это видно из немногих мне известных анализов (напр. с глуб. воды 712 м из Butte в Монтане; включены в эту таблицу); они не меняют пределов этой таблицы; вносятся новые элементы — может быть обычно не определяемые (Zn, Cu). Дальнейшие анализы покажут, надо ли разделять глубокие пресные пластовые воды от верхних их представителей.

Это воды 2-го бескислородного ряда. Уже с глубиной 15—20 метров кислород из этих вод исчезает. Перед нами воды подклассов N_2 — CO_2 и CO_2 — N_2 .

O — Cl — Na — Ca — (S) — (C) ⁶

Твердый остаток

$1,0 \times 10^{-1}$ — $1,3 \times 10^{-2}$

Элементы

O ⁷	$5,2 \times 10^{-2}$	—	$5,3 \times 10^{-4}$
Cl	$3,4 \times 10^{-2}$	—	$1,3 \times 10^{-4}$
Na	$2,5 \times 10^{-2}$	—	$2,8 \times 10^{-4}$
Ca	$1,5 \times 10^{-2}$	—	$1,0 \times 10^{-4}$
Mg	$1,5 \times 10^{-2}$	—	$4,0 \times 10^{-5}$ (1)
S ⁸	$1,5 \times 10^{-2}$	—	$1,8 \times 10^{-4}$
C ⁹	$7,6 \times 10^{-3}$	—	$1,8 \times 10^{-4}$
Si ¹⁰	$7,1 \times 10^{-3}$	—	$1,9 \times 10^{-4}$
K	$5,3 \times 10^{-3}$	—	$2,7 \times 10^{-4}$ сл.
Fe	$2,0 \times 10^{-3}$	—	$5,0 \times 10^{-6}$
H ¹¹	$6,4 \times 10^{-4}$	—	$6,6 \times 10^{-7}$
N ¹²	$6,3 \times 10^{-4}$	—	$7,6 \times 10^{-6}$
Al	$1,4 \times 10^{-4}$		

¹ Вероятно его количество в максимуме порядка 10^{-2} . Не принята во внимание CO_2 в газовом растворе.

² Ионы $SiO_3^{''}$ или мицеллы SiO_2 .

³ Ионы HCO_3' .

⁴ Не указан азот газообразный.

⁵ Эти числа взяты из немногих анализов и потому не дают вполне удовлетворительного представления о составе этих вод.

⁶ Эта общая формула очевидно при более тщательном исследовании уточнится. Ясно, что временами Cl, Ca выпадут из характерного комплекса этих вод.

⁷ Из $CO_3^{''}$ (до $2,4 \times 10^{-2}$), SiO_2 (до $1,3 \times 10^{-3}$), $SO_4^{''}$ (до $5,3 \times 10^{-3}/o$), NO_3' (до $2,4 \times 10^{-3}$), $PO_4^{'''}$ (до $1,9 \times 10^{-4}$), HCO_3' (до $3,0 \times 10^{-2}/o$).

⁸ Из $SO_4^{''}$.

⁹ Из $CO_3^{''}$. Введение в таблицу элементов растворенного органического вещества не изменит повидимому пределов для углерода. По прямому определению Пикона (1932) для французских вод (три анализа) процент такого углерода колеблется ($2,3 \times 10^{-4}$ — $4,0 \times 10^{-6}/o$).

¹⁰ Из SiO_2 .

¹¹ Из NH_4^+ , HCO_3' .

¹² Из NO_3' из NH_4^+ (до $9,0 \times 10^{-6}/o$).

Ar	$7,0 \times 10^{-5}$	
Pi	$6,4 \times 10^{-5}$	$- 2,4 \times 10^{-8}$
Mn	$5,0 \times 10^{-5}$	
Zn	$3,0 \times 10^{-5}$	
He	$6,2 \times 10^{-11}$	
Ra	$1,8 \times 10^{-13}$	$- 9,6 \times 10^{-14}$
Rn	$5,7 \times 10^{-16}$	$- 1,6 \times 10^{-17} (\text{газ})$

Орган. вещ. $1,2 \times 10^{-3}$

Есть As, Cu, V.

706. Общее явление — замена на некоторой глубине в биосфере и в стратиферии пресных пластовых вод солеными пластовыми водами — представляется несомненным.

Также ясны и те два основных фактора, которые к этому приводят. Одним является морское происхождение большинства осадочных пород, пронизываемых для вод. Остатки морских иловых или донных вод, или бывших в них солей, определяют состав пластовых вод: в огромном большинстве случаев эти воды являются солеными.

Другим является геологическое время и повышение температуры более глубоких слоев, вызывающее большее растворение водой солей осадочных пород, большее химическое взаимодействие между водой и веществом пород и большее испарение самой воды: пресная вода осолоняется; это явление аналогично в известной мере с осолонением — в ходе времени — пресных стоячих вод — озер — в биосфере (§ 629—630). Аналогия тем большая, что глубокие части пластовых вод стоячи, неподвижны.

В связи с этим более глубокие пластовые воды, воды — находящиеся в более древних осадочных породах и воды в морских осадочных породах — должны быть в главной своей части солеными.

В этих областях пресные пластовые воды будут играть второстепенную роль, не идут глубоко от уровня верховодок. Большинство глубоких пластовых вод действительно солены.

Но в природе есть и другие процессы, которые приводят к обратному явлению, к созданию больших вместилищ пресной пластовой воды на глубину до километра и больше от земной поверхности: это явление может наблюдаться местами среди развития мощных отложений терригенных пород, содержащих иловые пресные воды, и много позже после своего образования и уже в виде готовых пород, впитывающих метеорные воды. Сейчас геологи (Б. Л. Личнов. 1932 г.) начинают все точнее выяснять образование мощных терригенных пород в связи с историей пресных поверхностных вод и их распространение в истории земной коры в осадках озер и речных дельт. Это недостаточно пока учитываемое геологическое явление имеет свое отражение в пресных подземных бассейнах пластовых вод. Эти бассейны создаются в результате тектонических явлений.

Такие случаи нам известны; они не охвачены обобщающей мыслью и химически мало изучены.

Одним из самых ярких является огромный, в большей части пресноводный подземный бассейн Ю. Дакоты в С. Америке, где сеноманские терригенные песчаники (примерно 100—150 миллионов лет) сохранили и собрали на глубину до километра и глубже от уровня моря пресную и соленую воду состава $O - Na - S$.

Этот бассейн захватывает восточную и западную часть Ю. Дакоты, части С. Дакоты, Небраски и прилежащих штатов С. Америки; это самый большой бассейн пластовых вод Соединенных Штатов и один из самых больших в мире. Количество пластовой пресной воды вероятно наиболь-

шее из известных. В С. и Ю. Дакотах вычерпывается вода (частью соленая) почти 15 000 буровых скважин, идущих местами до 3 000 фут (т. е. около километра) глубины. Падение песчаников ясно указывает ее существование и на большую глубину: вода неподвижна и распределена среди песчаников в виде огромных линз. От уровня моря водный горизонт лежит на глубине 300—550 м; 10 000 буровых Ю. Дакоты дают по В. Ресселю (1928) в минуту 378 500 литров воды. В связи с этим человек непрерывно высасывает воду, и за 15 лет уровень горизонта вод упал на десятки метров (15—60 м). Средняя мощность водоносных линз 15 метров. Соленая и пресная воды, химически близкие, — связаны с древней геологией сеноманского времени: пресные бассейны лежали в прибрежной морской полосе. Я не могу сейчас дать сколько-нибудь полной таблицы состава этих вод, так как главная литература была мне у нас недоступна. Са и CO_3 играют в ней заметную роль, хлор — меньше. Коэффициент нерастворимого остатка $10^{-2}\%$ — большой.¹

Есть еще органические вещества. Ясная вода О — Na — S.

707. Должны быть поставлены отдельно пресные напорные воды, связанные с нефтяными месторождениями. Ибо эти воды — пресные, соленые и рассольные — обладают особым газовым составом, часто с содержанием кислородных кислотных компонентов нефти² и часто (всегда?) повышенным содержанием Ra и его изотопов.

Эти воды должны быть выделены, даже если окажется, что они в известном виде представляют соленые и рассольные коренные нефтяные воды, разбавленные поверхностной водой. Не исключена возможность и пресных вод первичного происхождения (например для Грозненского района).

Явление находится в стадии исследования. Известные факты не дают еще ясной картины: но все же удобно выделить воды, обогащенные радием и его изотопами, как характерные для нефтяных вод. Сделать это окончательно сейчас мы не можем; теоретически значение этого признака пока не установлено. Для пресных обогащение радия реже указано и может быть его (иногда?) нет. Я вернусь к этому вопросу во второй части.

Пресные воды менее обычных. Следующие числа (преобладают данные для Ухты) дают понятие о характере воды. Ее формула по господствующим компонентам будет О — Cl — Na — С — Са. Но, конечно, это смесь должно быть разных вод. Может быть есть Na- и Са-разности и бедные или богатые Cl.

Твердый остаток $1,0 \times 10^{-1} - 2,9 \times 10^{-2}\%$

Элементы

O ₃	$4,6 \times 10^{-2}$	$- 1,8 \times 10^{-2}$
Cl	$3,3 \times 10^{-2}$	$- 5,5 \times 10^{-3}$
Na	$2,9 \times 10^{-2}$	$- 1,9 \times 10^{-3}$
C ⁴	$1,1 \times 10^{-2}$	$- 4,2 \times 10^{-3}$
Ca	$1,0 \times 10^{-2}$	$- 6,7 \times 10^{-4}$

¹ Как пример одного анализа можно привести следующие числа:

Твердый остаток $6,82 \times 10^{-2}\%$

Элементы

O	$3,20 \times 10^{-2}$	Mg	$2,67 \times 10^{-3}$
Na	$1,67 \times 10^{-2}$	Ca	$1,19 \times 10^{-3}$
S	$1,57 \times 10^{-2}$	C	$1,06 \times 10^{-4}$

² Нефть и вода не смешиваются и не растворяются и встречаются в природе рядом, но отдельно. Нефтяные эмульсии (главным образом по Сельскому 1923 — капли воды, т. е. капли водного раствора в нефти) образуются, повидимому, искусственно, при добыче нефти. В природных нормальных условиях их нет? Или они временны?

³ Из HCO_3 (до $5,4 \times 10^{-2}\%$), SO_4 (до $2,4 \times 10^{-2}$), SiO_2 (до $3,5 \times 10^{-3}\%$), CO_2 (до $1,7 \times 10^{-4}\%$).

⁴ Из HCO_3 , CO_2 .

Si	$7,8 \times 10^{-3}$	—	$7,0 \times 10^{-5}$ сл.
Mg	$4,2 \times 10^{-3}$	—	$2,3 \times 10^{-4}$
Si	$1,7 \times 10^{-3}$	—	$8,0 \times 10^{-4}$
K	$1,7 \times 10^{-3}$	—	$5,5 \times 10^{-4}$
H ²	$8,9 \times 10^{-4}$	—	$4,0 \times 10^{-4}$
Fe	$1,9 \times 10^{-4}$	—	$1,4 \times 10^{-4}$
Al	$5,7 \times 10^{-5}$		
Есть H ₂ S			

708. Воды подземных водоемов—третьего подцарства чрезвычайно мало химически изучены.

В виду их малой изученности—и того, что обычно их не выделяют отдельно, предлагаемое здесь разделение семейств имеет вероятно временный характер. При дальнейшем изучении, очевидно, будут выделены новые семейства сверх здесь приведенных, найдены новые, точнее определенные виды.

Сейчас можно отметить следующие большие семейства:

1. Воды в пустотах и в трещинах твердых массивных пород и кристаллических сланцев.
2. Воды коррозионные, среди которых имеют большое значение богатые Са воды карстовых областей.
3. Подземные реки и озера.
4. Воды ледниковых покровов (подледниковые).

Все эти воды характеризуются как своим генезисом, так и своим строением: они заполняют пустоты более или менее значительных размеров, а не проникают поры рыхлых или плотных пород. Благодаря этому они по своей структуре аналогичны поверхностным водам и часто очень резко отличаются от подземных вод, таких, как почвенные, иловые, пластовые воды.

709. В виду малой изученности этих вод сейчас невозможно численно выразить их химический состав хотя бы в той степени, как это сделано для вод поверхностных (наземных), пластовых, вод минеральных источников.

Некоторое понятие можно дать о подземных водах в пустотах массивных и кристаллически слоистых пород.

Обычно их не отделяют от тех подземных вод, которые объединены в группу пластовых вод. Часть этих же вод (как и пластовых) в таблицах анализов, здесь помещенных, попала в семейство минеральных источников.

Ясно, что это состояние наших знаний длиться не может, должно быть и, повидимому скоро, будет изменено.

Для пресных вод с несомненностью установлены воды О—Са—С,—повидимому, воды, богатые Na, они быстро переходят в воды соленые.³

Карбонатные воды, богатые растворенной СО₂, преобладают, повидимому, в зависимости от той газовой атмосферы, которая характеризует стратиферу. Для этих вод характерно обогащение кремнием и связанным азотом и относительная бедность хлором. Несомненно при химическом разнообразии тех массивных пород, которые входят в состав твердого вещества верхних геосфер, надо ждать, что состав данных вод будет очень различный: например, должны быть резко отличны воды базальтовых, гранитных, нефелино-сиенитовых пород, хотя бы исходной для них и являлась одна и та же метеорная вода. Возможно, что в этих трещинах сохраняется и вода, связанная с последними стадиями застывания массивных пород,—

¹ Из SO₄²⁻.

² Из HCO₃⁻.

³ Благодаря любезности пр. Б. Л. Личкова и В. А. Унковской, я мог ознакомиться с новыми неопубликованными анализами вод скважин из гранитной области Украины (Умань, Бердичев, Винница, Бердянск). Преобладают воды О—Са—С, иногда О—Са—С—S (ион SO₄) и редко О—Са—Na—С—Cl. Есть обогащенные ионами NO₃⁻ до $1,1 \times 10^{-20}/\text{г}$.

вода гидросферы для подводных вулканических пород, паров подземных атмосфер для интрузивных пород стратисферы.¹

Очень возможно, но не исследовано, что среди вод этих пород можно ждать вод двойного характера; во-первых, вод — первый тип — связанных с метеорными осадками подобно верховодкам и верхним пластовым водам, и во-вторых, — второй тип — вод от метеорных вод независимых.

Повидимому воды первого типа не могут идти очень глубоко в земную кору (как могут идти пластовые воды), ибо трещины практически не встречаются глубже 600 метров от поверхности, а трещины на границах соприкосновения разнородных пород, обычные места сборных вод, не идут в среднем глубже 60 метров (Е. Imbeaux 1930).

Но есть еще трещины и пустоты внизу, которые образовались в больших массивах вне связи с земной поверхностью, в связи с процессами застывания или тектонических глубоких смещений. Воды, их замещающие, особенно интересны и заслуживают особого внимания.

710. От вод подземных водоемов есть переходы к водам пластовым, но эти переходные воды при тщательном геологическом изучении могут быть всегда отделены от тех вод подземных бассейнов, которые только и должны быть отнесены в это полуцарство.

Очевидно, воды осадочных пород, для которых кристаллический массив является непроницаемым, относятся к пластовым водам. Более сложно, может быть, происхождение тех вод, которые собираются в верхнем измененном выветриванием слое кристаллических пород, например в воде каолиновых отложений южной Европейской части Союза, лежащих на гранитных массивах, из которых они произошли (древний элювий). Здесь вопрос требует особого исследования.

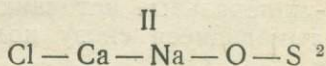
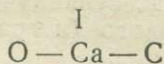
Трещины и пустоты, в которых находится вода в массивных породах, могут давать и воды напорные.

Химическое изучение таких вод, в связи с вышесказанным, заслуживает особого внимания. Для вод в трещинах гранитов указываются давления, доходящие до 7000 кг/см². Давление этих напорных вод подземных водоемов далеко не всегда может быть точно объяснено.

711. Следующие примеры состава северо-американских вод 1-го типа в гранитных породах могут дать понятие об их химическом составе.

Анализ неполный. Нет определения NH_4^+ . Повидимому, есть разности: 1) карбонатные и 2) сульфатные.

I — единичный анализ гранитной воды, II — средний (и колебания) анализ гранитных вод.



Твердый остаток (в ‰)

$2,8 \times 10^{-2}$

средний $2,2 \times 10^{-3}$ ($4,2 \times 10^{-3} - 8,1 + 10^{-4}$)

Элементы:

$\text{O}_3 \quad 1,3 \times 10^{-2}$

$\text{Ca} \quad 6,4 \times 10^{-3}$

$\text{C}^4 \quad 2,6 \times 10^{-3}$

$\text{Cl} \quad 2,5 \times 10^{-3}$

$\text{Mg} \quad 1,7 \times 10^{-3}$

$\text{Cl} \quad 1,4 \times 10^{-3} - 1,5 \times 10^{-4}$ (ср. $4,5 \times 10^{-4}$)

¹ Насколько ничтожны и несовершенны наши знания об этих водах, видно, например, для южнорусского кристаллического массива из сводки Б. Л. Личкова (1930).

² С глубин 8,1—90 м.

³ Из CO_3 (1,0 $\times 10^{-20/0}$), SO_4 (1,9 $\times 10^{-30/0}$).

⁴ Из CO_3

Na $1,5 \times 10^{-3}$ (заклучает K)
 Si $1,0 \times 10^{-3}$
 S' $6,2 \times 10^{-4}$

Ca $6,2 \times 10^{-4} - 1,1 \times 10^{-5}$ (ср. $3,3 \times 10^{-4}$)
 Na $6,1 \times 10^{-4} - 9,6 \times 10^{-5}$ (ср. $2,3 \times 10^{-4}$)
 O² $5,4 \times 10^{-4} - 1,1 \times 10^{-4}$ (ср. $2,1 \times 10^{-4}$)
 S³ $1,9 \times 10^{-4} - 3,2 \times 10^{-5}$ (ср. $6,2 \times 10^{-5}$)
 Si $1,5 \times 10^{-4} - 3,9 \times 10^{-5}$ (ср. $7,1 \times 10^{-5}$)
 K $1,3 \times 10^{-4} - 1,7 \times 10^{-5}$ (ср. $5,5 \times 10^{-5}$)
 Mg $9,0 \times 10^{-5} - 1,8 \times 10^{-5}$ (ср. $4,6 \times 10^{-5}$)
 Al₂O₃ + F₂O₃ $4,7 \times 10^{-5} - 1,1 \times 10^{-5}$
 Орган. вещ. $7,4 \times 10^{-5} - 5,2 \times 10^{-6}$ (ср. $4,6 \times 10^{-4}$)

Есть Al, Fe

III

Вода из третичных лав в Ardèche. Анализ Barral'я (1929).

Подкласс углекислых вод

O — C — Ca — (Na)

Твердый остаток: $4,9 \times 10^{-2}$ (при 180° C)

Элементы

O⁴ $2,4 \times 10^{-1}$
 C $7,8 \times 10^{-2}$
 Ca $9,4 \times 10^{-3}$
 Na $4,8 \times 10^{-3}$
 Mg $3,5 \times 10^{-3}$
 Si $3,3 \times 10^{-3}$
 Fe $2,8 \times 10^{-3}$
 H $1,1 \times 10^{-3}$
 Cl $5,2 \times 10^{-4}$
 Mn $2,6 \times 10^{-4}$
 K $2,2 \times 10^{-4}$
 S $1,8 \times 10^{-4}$

Едва ли может быть сомнение, что более тщательное изучение сильно уточнит и изменит наши знания в этой области.

712. Особое подцарство представляют восходящие подземные воды — минеральные источники, сопочные воды, вулканические, гейзерные, поднимающиеся снизу под влиянием газового (и гравитационного) давления.

Они должны быть выделены в особое подцарство, потому что по крайней мере часть их воды и ее компонентов независима от вод метеорных и древних морских вод и идет снизу из глубоких слоев стратисферы и метаморфической оболочки.

Очень возможно, что даже большая часть их воды и компонентов имеет такое происхождение и что это явление более обычно, чем мы думаем.

Вода и ее компоненты связаны с подземными атмосферами и не менее того с магматическими очагами (§ 297 сл.); она частью образуется сгущением поднимающихся снизу водяных паров.

¹ Из SO₄".

² Из SO₄" (до $5,6 \times 10^{-40/0}$), SiO₂ (до $3,1 \times 10^{-40/0}$).

³ Из SO₄".

⁴ Из CO₂ — $2,4 \times 10^{-1}$, CO₃" и HCO₃' — $6,5 \times 10^{-20/0}$, SO₄" — $5,4 - 10^{-4}$, SiO₂ — $7,1 \times 10^{-30/0}$.

Она подымается снизу благодаря газовому давлению, создаваемому химическими реакциями, и давлению гравитационному, вызываемому процессами тектонического, орогенетического характера (§ 553, 692).

Можно различить здесь по крайней мере следующие семейства:

1. Минеральные источники (акротермы).
2. Вулканические воды, т. е. воды, связанные с вулканическими извержениями.
3. Гейзерные воды.
4. Сопочные воды.
5. Пегматитовые воды.

Эти последние, которые в основном проявлении являются газообразными формами природных вод, в виду их малой изученности могут быть здесь только отмечены.

713. Минеральные источники наиболее изучены и наиболее разнообразны.

Они иногда смешиваются с естественными выходами пластовых вод и вод, собирающихся в массивных и в кристаллически-слоистых породах, неизвестных в чистом виде (ср. § 706).

Они идут по трещинам, подымаются и сгущаются в участках земной коры, тектонически нарушенных. Проявлением химических процессов, шедших в этих водных жилах, являются при их замирании твердые минеральные, конкреционные и метасоматические жилы (1, § 100) и отвечающие им жильные поля.

Минеральные источники никогда не содержат свободного кислорода; он всегда вторичный из тропосферы и связанных с ней вод.¹

Их температура не связана со средней температурой биосферы в местах их выходов (обычно выше). Они изменены (иногда чрезвычайно существенно) глубокими пластовыми водами и верховодкой, которые проникают и пересекают те же трещины, где наблюдают выходы (грифоны) минеральных источников.

Нередко здесь же выходят нефти и газы, ибо по трещинам взломанных участков земной коры, идущих причудливо и неправильно на несколько километров глубины, собираются все легко подвижные жидкие и газообразные тела, создающиеся во время химических процессов, идущих в этом участке земной коры.

В помещенных ниже анализах не всегда можно было отличить воды минеральных источников от вод пластовых и вод свободных водоемов в массивных породах, так как, с одной стороны, эти воды в природе часто смешиваются, с другой — часть минеральных источников получена бурениями, т. е. является по существу напорными водами. Их отнесение к настоящим восходящим водам вызвано одинаковым характером их использования человеком. Наконец возможно, что часть тектонических смещений земной коры дает выход на поверхность именно напорным водам, а не более глубоким, связанным так или иначе с магматическими очагами, восходящим водам.

Поэтому наши знания о химии минеральных источников в настоящее время не могут быть очень отчетливы.

Еще менее точны наши сведения о газовых растворенных их компонентах. В связи с этим выделить под классы возможно сейчас для относительно небольшого числа минеральных источников. Это один из самых вопиющих — и требующих быстрого улучшения — недостатков нашего знания.

Очень мало обращается внимания на точное определение радиоактивности акротерм. Исследуют почти исключительно Rn, Tn, редко An. А между тем имеет большее значение определение Ra, U, MsTh, Ac X, MsThI. Определение Rn не дает понятия о радиоактивности воды, вопреки тому что думают. Необходима здесь измененная систематическая работа.

¹ Точное применение и использование этого признака позволяет отделить от минеральных источников другие воды (пластовые и воды подземных водоемов), связанные с биосферой и стратисферой. Химия вод от этого выяснится.

Компоненты минеральных источников очень разнообразны, и воды эти по характеру компонентов резко отличны от вод метеорных и поверхностных. Теоретически столь же должны быть велики отличия их компонентов от компонентов вод пластовых. Мы не можем сейчас это точно установить только благодаря недостаточной точности работы при взятии проб воды термальных источников.

В виду того, что значительная часть их воды связана с сгущением внутренних паров земной коры, удобно сохранить для этих пресных вод то название, которое введено в бальнеологии: акротермы, т. е. верхние или поверхностные термальные источники, ибо таково положение и температура пресных минеральных вод по отношению ко всем минеральным водам.

Благодаря этому для акротерм можно с большей уверенностью допускать связь с магматическими очагами, чем для соленых минеральных источников. Для последних можно ждать и других условий образования. Я вернусь к этому вопросу во второй части книги.

714. Нам пока известно около 44 видов акротерм. Можно их распределить на ряды по нахождению в их преобладающем комплексе тех или иных элементов, дающих катионы, а именно:

1. Акротермы, содержащие в господствующем комплексе Cl.
2. Акротермы, не содержащие в нем Cl, но содержащие S.
8. Акротермы, не содержащие в нем Cl и S, но содержащие C.
4. Акротермы, не содержащие в нем Cl, S и C.

В пределах подсемейства удобно их располагать по числу компонентов их характеризующих.

715. Для первого ряда хлорных акротерм известны следующие виды:

1. Na — Cl — (O). Есть подклассы CO₂, N₂. Есть переходы в соленые и в № 4.
2. O — Na — Cl — Si
3. O — Na — Cl — S
4. O — C — Na — Cl. — Есть подкласс¹ N₂·CO₂
5. O — Cl — C — Mg
6. Fe — O — C — Cl. — Подкласс N₂?
7. O — Ca — Si — Na — Cl
8. O — Cl — Na — S — Ca
9. O — Na — Cl — C — Si. — Есть подкласс N₂?
10. O — C — Ca — S — Cl
11. O — C — Na — Ca — Cl
12. O — C — Na — Cl — S
13. (O) — Na — Cl — Si — S
14. O — Na — Cl — Si — S — C
15. O — C — Na — Ca — Fe — Cl

Для второго ряда серных акротерм — без хлора, но с серой в преобладающем комплексе — имеем:

16. O — Fe — S
17. O — Na — S
18. O — Ca — S
19. O — Zn — S?
20. O — S — Ca — Fe
21. O — Cu — Zn — S
22. O — S — Ca — Na. — Есть подкласс N₂
23. O — S — Na — Ca
24. O — C — Ca — S. — Есть подкласс N₂
25. O — Ca — Mg — S
26. O — Na — Si — S?
27. O — Na — S — C
28. O — S — Al — (Mg). — Есть подкласс CO₂
29. O — Si — Na — C — S

¹ Есть разность, более богатая хлором — O — Na — Cl — C.

30. $O - C - Na - Mg - S$
 31. $O - Ca - Fe - C - S$
 32. $O - Na - Ca - S - C$. — Подкласс N_2

Для третьего ряда углеродных акротерм — без Cl и S , но с C в преобладающем комплексе:

33. $O - Fe - C$
 34. $O - C - Ca$. — Есть подклассы: 1. CO_2 . 2. $CO_2 - N_2$. 3. $N_2 - CO_2$
 4. N_2
 35. $O - Na - C$
 36. $O - C - Na - Ca$
 37. $O - Ca - Fe - C?$
 38. $O - C - Mg - Ca$
 39. $O - Fe - Ca - Si - C$
 40. $O - Ca - Si - C - Mg$. — Подкласс $CO_2 - N_2$
 41. $O - C - Na - Ca - Fe$
 42. $O - Mg - C - Na - Ca$

Для четвертого ряда без Cl , S и C в преобладающем комплексе:

43. $O - B - Mg - Si$
 44. $O - Ca - P$.

716. Химический состав этих вод виден из ниже приведенных таблиц, при чем надо отметить, что состав вод отвечает реально наблюдаемым данным, в которых мы имеем обычно смеси: везде есть примесь, большая или меньшая, пластовых вод, всегда верховодок, встреченных при движении к земной поверхности. Поэтому приведенные предельные числа изменятся при более точном научном исследовании — при научной критической оценке измерений.

Но как эмпирические данные реального наблюдения они все же сохраняют свое значение, так как в биосферу и на ее поверхность попадают они, а не идеальные, от нее независимые, лежащие в стратисфере и ниже „минеральные источники“. Минеральный источник, начинающийся где-нибудь в глубокой стратисфере, закономерно меняется по мере своего движения вверх, к биосфере. И нельзя сказать, где кончается его со-
 зидание.

Обычно учитывают примесь верховодок, как резко меняющих те его свойства, которые интересуют наблюдателя с точки зрения использования акротермы. С точки зрения геохимического явления примесь „вадозных“ грунтовых вод есть неизбежное явление выхода минеральных вод на поверхность биосферы. Без них минеральные воды в биосферу попасть не могут — если человек не изменит ход естественного процесса.

Поэтому приведенные числа имеют сами по себе реальное значение: они дают понятие о воде минеральных источников, достигших биосферы.

Их основной недостаток другой — о чем я уже говорил раньше (§ 713).

В ряде случаев в эти таблицы включены пластовые воды, а не восходящие воды минеральных источников. Отделить минеральные источники от пластовых вод, получивших — естественно или искусственно — выход в биосферу благодаря своему гидростатическому давлению, мы пока не можем.

Это задача ближайшего будущего.

Общим недостатком этих анализов, что многократно указывалось, является малая изученность растворенных газов, редко позволяющая определять подклассы. Это явление общее не только для акротерм, но и для всех минеральных источников.

Точно так же общим недостатком является малая качественная и количественная изученность органических веществ. Изучение жильных месторождений указывает на чрезвычайное распространение в них органических веществ, мало сказывающееся в анализах вод минеральных источников.

Я даю здесь числа состава воды для тех из акротерм, для которых есть достаточные данные. Привожу их по подсемействам. Начинаю с тех, для которых Cl характерен, — с хлорных акротерм.

717. Числа для этих вод следующие (‰ веса):

I. Cl—Na (—O)¹ II. O—Ca—Si—Na—Cl III. O—Cl—Na—Si²

Остаток: $5,4 \times 10^{-2} - 1,2 \times 10^{-1} \text{ ‰}$ $2,2 \times 10^{-2} \text{ ‰}$ $8,3 \times 10^{-2} - 2,3 \times 10^{-2}$

Элементы

Cl $2,5 \times 10^{-2} - 5,1 \times 10^{-3} \text{ ‰}$		O ³ $3,0 \times 10^{-2} - 1,1 \times 10^{-3}$
Na $2,5 \times 10^{-2} - 4,9 \times 10^{-3}$		Cl $2,4 \times 10^{-2} - 1,3 \times 10^{-3}$
O ⁴ $2,5 \times 10^{-2} - 1,2 \times 10^{-3}$		Na $1,7 \times 10^{-2} - 1,0 \times 10^{-3}$
		Si $1,2 \times 10^{-2} - 2,1 \times 10^{-3}$
K $8,6 \times 10^{-3} - 2,1 \times 10^{-5}$	O ⁵ $4,5 \times 10^{-3}$	S $7,6 \times 10^{-3} - 1,3 \times 10^{-4}$
Ca $4,0 \times 10^{-3} - 2,1 \times 10^{-5}$	Ca $4,3 \times 10^{-3}$	Ca $4,9 \times 10^{-3} - 2,1 \times 10^{-4}$
Si ⁷ $3,9 \times 10^{-3} - 3,0 \times 10^{-4}$	Si $3,1 \times 10^{-3}$	Mg $4,0 \times 10^{-3} - 3,0 \times 10^{-5}$
C ⁸ $3,6 \times 10^{-3} - 3,0 \times 10^{-4}$	Na $3,2 \times 10^{-3}$	K $4,0 \times 10^{-3} - 1,1 \times 10^{-5}$
S ⁶ $3,3 \times 10^{-3} - 2,5 \times 10^{-4}$	Cl $2,0 \times 10^{-3}$	C ⁹ $2,2 \times 10^{-3} - 3,1 \times 10^{-5}$
Mg $1,3 \times 10^{-3} - 2,0 \times 10^{-5}$		
N ¹⁰ $1,2 \times 10^{-3} - 9,0 \times 10^{-6}$		
B $9,6 \times 10^{-4}$	S $2,0 \times 10^{-4}$	B $5,1 \times 10^{-4}$
H $5,8 \times 10^{-4} - 2,6 \times 10^{-4}$	K $1,2 \times 10^{-4}$	Br $3,1 \times 10^{-4}$
Fe $3,1 \times 10^{-4} - 1,7 \times 10^{-5}$		Al $2,7 \times 10^{-4} - 1,5 \times 10^{-4}$
Al $2,7 \times 10^{-4} - 2,2 \times 10^{-5}$		H ¹¹ $1,8 \times 10^{-4} - 2,1 \times 10^{-5}$
As $1,2 \times 10^{-4}$		N ¹² $1,6 \times 10^{-4} - 8,9 \times 10^{-5}$
		As $1,2 \times 10^{-4}$
Li $8,6 \times 10^{-5} - 2,5 \times 10^{-5}$	Mg $5,0 \times 10^{-5}$	
Br $5,2 \times 10^{-5} - 8,7 \times 10^{-6}$	Fe $3,0 \times 10^{-5}$	Fe $9,3 \times 10^{-5} - 1,9 \times 10^{-5} \text{ (O)}$
J $2,4 \times 10^{-5} - 2,0 \times 10^{-5}$	Al $3,0 \times 10^{-5}$	Li $1,2 \times 10^{-5} - 1,0 \times 10^{-5}$
P $3,0 \times 10^{-5}$	P $2,3 \times 10^{-5}$	
Sr $2,0 \times 10^{-5}$		J $9,6 \times 10^{-6} - 9,6 \times 10^{-6}$

¹ Есть углекисло-азотные: CO₂—N₂:

CO₂ $4,2 \times 10^{-3} \text{ ‰}$
N₂ $1,2 \times 10^{-3}$
O₂ $4,1 \times 10^{-4}$

² Есть два разных вида в зависимости от характера серы—бедные кислородом воды, заключающие ионы серы (HS', S₂O₃'', SO₄' и H₂S'') и богатые свободным кислородом с преобладанием иона SO₄'. Между ними есть переходы; такие воды здесь не отделены. Они дают все переходы, повидимому изменяясь уже в стратифере. На глубинах два типа разделены и может быть SO₄' всегда вторичны?

Есть углекисло-азотный подкласс: CO₂ < N₂:

CO₂ $6,3 \times 10^{-3} \text{ ‰}$
N₂ $2,0 \times 10^{-3}$
O₂ $4,1 \times 10^{-4}$

³ Ионы SO₄' (до $1,5 \times 10^{-2} \text{ ‰}$), CO₃' (до $9,5 \times 10^{-4}$), S₂O₃' (до $6,2 \times 10^{-4}$), CO₂ (до $1,5 \times 10^{-3}$), HCO₃' (до $1,5 \times 10^{-3}$), SiO₂ (до $6,7 \times 10^{-3} \text{ ‰}$).

⁴ Ионы CO₃' или HCO₃' (до $1,7 \times 10^{-2}$), SO₄' (до $9,8 \times 10^{-3} \text{ ‰}$), NO₃' (до $4,0 \times 10^{-5} \text{ ‰}$), мицеллы SiO₂' (до $8,4 \times 10^{-3} \text{ ‰}$), CO₂ (до $4,2^{-3}$), PO₄' (до $9,1 \times 10^{-5} \text{ ‰}$).

⁵ Ионы SO₄' (до $6,1 \times 10^{-4} \text{ ‰}$), PO₄' (до $2,7 \times 10^{-5} \text{ ‰}$). Не приняты во внимание органические вещества—до $9,1 \times 10^{-4} \text{ ‰}$. Вероятно, кислород перейдет в следующую декаду— 10^{-2} ‰ .

⁶ Ионы SO₄', S₂O₃'', S'' (Na₂S до $2,3 \times 10^{-3} \text{ ‰}$, CaS до $2,2^{-3} \text{ ‰}$).

⁷ Из мицелл SiO₂.

⁸ Ионы CO₃' и HCO₃'. Растворенная CO₂ не принята во внимание—увеличит коэффициент и передвинет C в этой декаде.

⁹ Ионы CO₃', HCO₃'. Растворенная CO₂.

¹⁰ Вероятно, всегда есть растворенный N₂. Всегда порядок 10^{-3} ‰ .

¹¹ Из HCO₃', NH₄⁺.

¹² Не принят во внимание растворенный N₂. Повидимому очень част или есть всегда. Азот перейдет в декаду 10^{-3} ‰ . Из NH₄⁺ (до $2,0 \times 10^{-4}$).

Есть Cs, Rb, Ba, Sb, Sn, Pb,
Ag, Cu, Bi, Co, Zn, Mo, Ti,
V, Be, Ge, Ga, W, Pt?

Есть Mn, Pb, Bi, Sb, Cu, Co? P,
Ni? Sn, Ti, Ga, Ge, Ag, Mo, W.

Есть He (Maizière 5,8⁰/₀ газа)

Свободн. H₂S $4 \times 10^{-2} - 4,4 \times 10^{-5}$ см³

718. К минеральным водам O—Na—Cl—S, т. е. к Пиринейскому типу (§ 720) близки воды: IV — богатые кальцием O—Cl—Na—S—Ca и V — богатые кремнием — O—Na—Si—Cl—S.

Следующие числа дают о них понятие:

IV. O—Cl—Na—S—Ca¹

V. O—Na—Si—Cl—S .

Твердый остаток:

$5,8 \times 10^{-2} - 3,6 \times 10^{-2}$ 0/0

$2,7 \times 10^{-2} - 1,2 \times 10^{-3}$.

Элементы

O² $1,8 \times 10^{-2} - 8,1 \times 10^{-3}$

O⁶ $1,2 \times 10^{-2} - 5,6 \times 10^{-3}$

Cl $1,4 \times 10^{-2} - 2,9 \times 10^{-3}$

Na $1,0 \times 10^{-2} - 6,4 \times 10^{-3}$

S³ $8,0 \times 10^{-3} - 2,7 \times 10^{-3}$

Na $8,5 \times 10^{-3} - 3,8 \times 10^{-3}$

Ca $7,2 \times 10^{-3} - 5,0 \times 10^{-3}$

Si $4,6 \times 10^{-3} - 2,5 \times 10^{-3}$

Mg $3,0 \times 10^{-3} - 6,6 \times 10^{-5}$

Cl $5,9 \times 10^{-3} - 1,9 \times 10^{-3}$

K $2,1 \times 10^{-3} - 1,0 \times 10^{-3}$

S⁷ $4,2 \times 10^{-3} - 1,5 \times 10^{-3}$

Si $1,5 \times 10^{-3} - 4,7 \times 10^{-4}$

Ca $2,2 \times 10^{-3} - 2,9 \times 10^{-4}$

C⁴ $1,4 \times 10^{-3} - 6,5 \times 10^{-4}$

Al $1,7 \times 10^{-4} - 1,2 \times 10^{-5}$

C⁸ $8,1 \times 10^{-4} - 2,4 \times 10^{-4}$

H⁵ $5,3 \times 10^{-6} - 1,2 \times 10^{-6}$

K $4,4 \times 10^{-4} - 2,6 \times 10^{-4}$

Mg $7,0 \times 10^{-5} - 1,9 \times 10^{-5}$

Fe $5,6 \times 10^{-5} - \text{сл.}$

As $1,0 \times 10^{-5} - 6,9 \times 10^{-6}$

Rn $6,0 \times 10^{-16} - 4,8 \times 10^{-16}$

Есть Fe (сл.), P, Ti.

Есть Li, J, Br, P, B, Mn, Pb.
Sn, Ag, Mo, Ga, Ge, V, Ti, Bi, Ni, W.

Органич. веш. (барезин)
 $3,1 \times 10^{-3} - 1,2 \times 10^{-3}$ 0/0.

719. Из Cl—CO₃ вод — мало изученных — есть воды O—Na—Cl—C (очень обычные для соленых), например Wildbad (анал. V) и сероводородный источник на Ухте, анализ которого произведен А. А. Черепениковым — O—Cl—C—Mg (богатый Na и Ca) (ан. VI).⁹

¹ Есть разности более бедные и богатые кальцием.

² Из SO₄ (до $2,3 \times 10^{-2}$ 0/0), CO₂ (до $5,0 \times 10^{-3}$ 0/0), SiO₂ (до $3,2 \times 10^{-3}$ %). Органические вещества не учтены.

³ Из SO₄ и H₂S (раств. до $8,5 \times 10^{-5}$ 0/0). HS' и органическое вещество не учтено.

⁴ Из CO₂. Органическое вещество не учтено. Повидимому, ионов CO₃ нет?

⁵ Из H₂S. Органическое вещество не учтено.

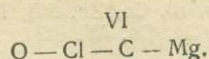
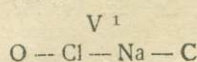
⁶ Из SO₄ (до $2,8 \times 10^{-3}$), SiO₃ (до $5,6 \times 10^{-3}$), S₂O₃ (до $1,1 \times 10^{-3}$), CO₃ (до $4,0 \times 10^{-3}$).

⁷ Из SO₄. S (Na₂S до $3,9 \times 10^{-3}$), S₂O₃.

⁸ Из CO₂.

⁹ Я отмечаю этот сероводородный источник, чтобы обратить на него внимание — он стоит одиноко. Может быть он относится к соленым водам. Воды с преобладанием магния заслуживают особого внимания — они должны быть связаны с особым парагенезом.

Вот эти числа:



Твердый остаток

$$9,5 \times 10^{-2} - 9,5 \times 10^{-3}$$

$$1,0 \times 10^{-1} \text{ ‰}$$

Элементы

$$\text{O}^3 \ 2,9 \times 10^{-2} - 1,8 \times 10^{-2}$$

$$\text{Cl} \ 2,9 \times 10^{-2} - 1,5 \times 10^{-2}$$

$$\text{Na} \ 1,5 \times 10^{-2} - 1,2 \times 10^{-2}$$

$$\text{O}^3 \ 4,6 \times 10^{-2}$$

$$\text{Cl} \ 2,7 \times 10^{-2}$$

$$\text{Mg} \ 5,7 \times 10^{-3} - 3,7 \times 10^{-4}$$

$$\text{C}^4 \ 5,5 \times 10^{-3} - 4,1 \times 10^{-3}$$

$$\text{Ca} \ 3,9 \times 10^{-3} - 4,0 \times 10^{-3}$$

$$\text{Si} \ 2,8 \times 10^{-3} - 2,0 \times 10^{-3}$$

$$\text{C}^5 \ 8,8 \times 10^{-3}$$

$$\text{Mg} \ 4,4 \times 10^{-3}$$

$$\text{S}^6 \ 3,3 \times 10^{-3}$$

$$\text{K} \ 6,6 \times 10^{-3} - 6,6 \times 10^{-4}$$

$$\text{Fe} \ 2,8 \times 10^{-3} - 1,7 \times 10^{-5}$$

$$\text{N}^7 \ 2,3 \times 10^{-3}$$

$$\text{S} \ 1,2 \times 10^{-3} - 5,2 \times 10^{-5}$$

$$\text{Ba} \ 1,4 \times 10^{-3}$$

$$\text{Na} \ 2,9 \times 10^{-3}$$

$$\text{Ca} \ 2,7 \times 10^{-3}$$

$$\text{Si} \ 2,4 \times 10^{-3}$$

$$\text{K} \ 1,7 \times 10^{-3}$$

$$\text{H}^9 \ 1,1 \times 10^{-3}$$

$$\text{H}^8 \ 7,6 \times 10^{-4} - 1,5 \times 10^{-5}$$

$$\text{Fe} \ 1,7 \times 10^{-4}$$

$$\text{Al} \ 2,2 \times 10^{-4}$$

$$\text{Br} \ 2,5 \times 10^{-4}$$

$$\text{J} \ 2,2 \times 10^{-4}$$

$$\text{Li} \ 8,3 \times 10^{-5}$$

$$\text{Ra}^{10} \ 2,2 \times 10^{-10} - 1,2 \times 10^{-10} \text{ ‰}$$

Свободно выделяющиеся газы в см³.

720. Среди пресных минеральных источников очень важный и своеобразный тип представляют источники, связанные с гранитными породами, богатые Na и сероводородом явно первичного происхождения. Эти источники были мной при обработке истории сероводорода названы источниками Пиринейского типа (1918).

Можно выделить в Пиринях — среди минеральных источников этого типа — два вида:

$$^1 \text{ Есть подкласс } \text{N}_2 - \text{CO}_2$$

$$\text{N}_2 \ 2,3 \times 10^{-3}$$

$$\text{CO}_2 \ 1,3 \times 10^{-3}$$

$$\text{O}_2 \ 7,7 \times 10^{-6}$$

Есть магниевая разность?

$$^2 \text{ Из } \text{O}_2, \text{HCO}_3' \ (\text{до } 2,6 \times 10^{-2}), \text{CO}_2, \text{SO}_4' \ (\text{до } 3,6 \times 10^{-3} \text{ ‰}) \text{ H}_2\text{SiO}_3 \ (\text{до } 7,9 \times 10^{-3}).$$

$$^3 \text{ Из } \text{SO}_4' \ (9,9 \times 10^{-3}), \text{HSiO}_3' \ (6,7 \times 10^{-3} \text{ ‰}), \text{HCO}_3' \ (1,4 \times 10^{-2} \text{ ‰}). \text{ Органические вещества и CO}_2 \text{ не учтены.}$$

$$^4 \text{ Из } \text{CO}_2, \text{HCO}_3'$$

$$^5 \text{ Из } \text{HCO}_3', \text{CO}_2 \text{ не учтена.}$$

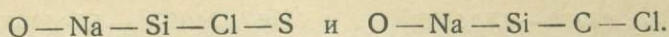
$$^6 \text{ Из } \text{SO}_4'$$

$$^7 \text{ Из } \text{N}_2$$

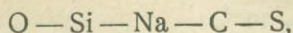
$$^8 \text{ Из } \text{HCO}_3', \text{HSiO}_3'$$

$$^9 \text{ Из } \text{HCO}_3'$$

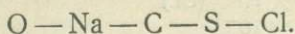
$$^{10} \text{ Источник Urgeirica в Nelas в Португалии по Лепьерру.}$$



Обычно мы не имеем здесь резкого разделения, и есть, несомненно, разности, бедные хлором:



и при увеличении концентрации относительно обедняющиеся кремнием:



Среди них очень распространены источники подкласса N_2 и $\text{N}_2 - \text{H}_2\text{S}$, может быть $\text{N}_2 - \text{CO}_2 - \text{H}_2\text{S}$.

Сера в первичном виде встречается в виде ионов HS' и H_2S , превращающихся еще в стратифицированной части в ион SO_4'' , частью в $\text{S}_2\text{O}_3''$.

Источники эти местами несут очень большие количества воды. Так, несколько десятков источников в Graus d'Olette в Пиринеях температуры $27-79,4^\circ \text{C}$ в сутки выносят 22 000 гектолитров воды. Судя по температуре, вода идет с глубины 1500—2000 метров.

Следующие цифровые данные (VIII—X) могут дать понятие о составе этих источников, где:

VIII · $\text{O} - \text{Na} - \text{Cl} - \text{Si} - (\text{S}) - (\text{C})$ — очень пресные источники Пиринеев, максимум твердого остатка $3 \times 10^{-2} \text{‰}$;

IX · $\text{O} - \text{C} - \text{Na} - \text{Cl} - \text{S}$ — более богатые ионами HCO_3' или CO_3'' большей частью с большим соевым остатком; Si в прежнем количестве;

X · $\text{O} - \text{Si} - \text{Na} - \text{C} - \text{S}$ — бедны хлором¹ (см. стр. 390).

VIII² $\text{O} - \text{Na} - \text{Cl} - \text{Si} - (\text{C}) - (\text{S})$ IX³ $\text{O} - \text{C} - \text{Na} - \text{Cl} - \text{S} - \text{Si}$.⁴

Твердый остаток (‰)

$$3,4 \times 10^{-2} - 1,0 \times 10^{-2}$$

$$1,0 \times 10^{-1} - 9,5 \times 10^{-3}$$

Элементы (‰)

$$\text{O}^7 \quad 1,8 \times 10^{-2} - 7,8 \times 10^{-3}$$

$$\text{O}^5 \quad 1,2 \times 10^{-1} - 3,3 \times 10^{-3}$$

$$\text{C}^6 \quad 4,3 \times 10^{-2} - 6,6 \times 10^{-4}$$

$$\text{Na} \quad 2,7 \times 10^{-2} - 3,5 \times 10^{-3}$$

$$\text{Cl} \quad 2,6 \times 10^{-2} - 5,1 \times 10^{-4}$$

$$\text{Na} \quad 9,9 \times 10^{-3} - 4,3 \times 10^{-3}$$

$$\text{S}^8 \quad 8,8 \times 10^{-3} - 1,1 \times 10^{-3}$$

$$\text{Cl} \quad 5,9 \times 10^{-3} - 3,8 \times 10^{-4}$$

$$\text{Si} \quad 4,0 \times 10^{-3} - 2,4 \times 10^{-3}$$

$$\text{Si} \quad 4,8 \times 10^{-3} - 8,8 \times 10^{-4}$$

$$\text{Ca} \quad 4,1 \times 10^{-3} - 3,8 \times 10^{-5}$$

¹ Должен быть отнесен к следующему ряду (без Cl, но с S) § 722.

² Есть переходы в вид $\text{O} - \text{Na} - \text{Si} - \text{S}$. Есть разности, богатые калием? (Хорросские ист. в Копальском окр.?) и бедные S и C.

³ Есть подкласс N_2 и $\text{N}_2 - \text{H}_2\text{S}$. Может быть иногда H_2S вторичный, по крайней мере часть его. Есть подкласс $\text{CO}_2 - \text{N}_2$: (CO_2 $1,5 \times 10^{-1} - 5,0 \times 10^{-2} \text{‰}$, N_2 $1,4 \times 10^{-3} - 1,3 \times 10^{-3} \text{‰}$).

⁴ Есть переходы в вид $\text{O} - \text{Na} - \text{S} - \text{C}$. Есть разности, более богатые S и более богатые C.

⁵ Из ионов SO_4'' (до $2,5 \times 10^{-2} \text{‰}$), HCO_3' (до $4,3 \times 10^{-2} \text{‰}$), мицелл H_2SiO_3 до $71, \times 10^{-3} \text{‰}$, свободная CO_2 (до $1,5 \times 10^{-1} \text{‰}$).

⁶ Из ионов HCO_3' . Растворенная CO_2 не принята во внимание.

⁷ Ионы SO_4'' (до $3,9 \times 10^{-3} \text{‰}$), CO_3'' (до $5,7 \times 10^{-3} \text{‰}$), $\text{S}_2\text{O}_3''$ (до $6,8 \times 10^{-4} \text{‰}$), HCO_3' (до $8,0 \times 10^{-3} \text{‰}$), NO_3^+ (до $2,4 \times 10^{-2} \text{‰}$), мицеллы SiO_2 (до $1,1 \times 10^{-2} \text{‰}$).

⁸ Ионы SO_4'' своб. H_2S (до $4,4 \times 10^{-5}$), ионы HS' ($1,7 \times 10^{-4}$).

S ¹ $3,9 \times 10^{-3} - 4,6 \times 10^{-4}$	Mg $2,4 \times 10^{-3} - 5,5 \times 10^{-6}$
K $3,2 \times 10^{-3} - 1,1 \times 10^{-4}$	N ² $1,4 \times 10^{-3} - 1,1 \times 10^{-3}$
C ³ $2,4 \times 10^{-3} - 6,1 \times 10^{-4}$	K $1,3 \times 10^{-3} - 1,2 \times 10^{-4}$
N ⁵ $2,4 \times 10^{-3} - 0(4,0 \times 10^{-4})$	
Ca $1,7 \times 10^{-3} - 1,8 \times 10^{-4}$	
Mg $8,5 \times 10^{-4} - 7,0 \times 10^{-6}$	H ⁴ $9,1 \times 10^{-4} - 6,4 \times 10^{-4}$
Fe $2,4 \times 10^{-4} - 1,0 \times 10^{-5}$ (сл.)	
H ⁶ $1,3 \times 10^{-4} - 7,5 \times 10^{-7}$	
F $2,2 \times 10^{-4} - 1,5 \times 10^{-7}$	
Al $1,6 \times 10^{-5} - 1,1 \times 10^{-5}$	Fe $6,7 \times 10^{-5} - 2,0 \times 10^{-6}$
B $6,5 \times 10^{-5} - 4,7 \times 10^{-5}$	Sr $6,6 \times 10^{-5} - 5,3 \times 10^{-5}$
As $5,9 \times 10^{-5} - 2,7 \times 10^{-6}$	Br $1,8 \times 10^{-5} - 1, \times 10^{-6}$
Br $2,0 \times 10^{-5} - 1,0 \times 10^{-5}$	Li $1,7 \times 10^{-5} - 1,9 \times 10^{-7}$
Li $1,0 \times 10^{-5} - 8,0 \times 10^{-6}$	P $1,4 \times 10^{-5} - 3,9 \times 10^{-7}$
	A $1,1 \times 10^{-5}$
	Rb $4,0 \times 10^{-6} - 3,0 \times 10^{-6}$
	J $4,0 \times 10^{-6} - 2,4 \times 10^{-6}$
	Mn $1,9 \times 10^{-6} - 3,0 \times 10^{-7}$

Mn, п. 10^{-7}

Ra⁷ $2,15 \times 10^{-8}$

Ra $3,4 \times 10^{-12}$

Есть Cu, J, P, Bi, Cr, Sn, Ge, Ga, Mo,
Ti, W, V, Zn

Есть B, As, Ni, F, Sb, Cu

Орган. вещ. $4,5 \times 10^{-3} - 6,5 \times 10^{-4}$

Орган. вещ. $2,6 \times 10^{-3} - 3,5 \times 10^{-4}$

Rn $8,0 \times 10^{-12} - 2,4 \times 10^{-13}$ 0/0 (на воду)

Свободно выделяющ. газы (в см³):

1. N ₂	2. N ₂ — CO ₂
N ₂ 99,39 — 98,9	N ₂ 65,8 — 57,1
O ₂ 1,1 — $6,6 \times 10^{-1}$	CO ₂ 41,8 — 32,5
	O ₂ 1,9 — 1,1

Rn $7,4 \times 10^{-14}$ 0/0 (на воду).

721. Из остальных относящихся сюда вод того же семейства приведу еще числа для вида XI: Fe—O—C—Cl—железистой воды Швеции, связанной с метаморфизованной водой (по Г. Гофман-Бангу) и для вида XII: Cl—O—C—Ca—Na—стронциевого источника в Мэриленде. В обоих сильно влияние вадозных вод, а второй судя по составу газов вадозный.

Состав их (в 0/0) виден из следующих чисел:

X. Fe—O—C—Cl⁸

XI. Cl—O—C—Ca—(Na)⁹

¹ Ионы SO₄^{''}, S₂O₃^{''}, Na₂S (до $1,9 \times 10^{-3}$ 0/0).

² Из NH₄⁺ растворенного N₂ (до $1,4 \times 10^{-8}$ 0/0).

³ Из HCO₃^{''}, CO₃^{''}.

⁴ Из HCO₃^{''}, H₂SiO₃, H₂S.

⁵ Из NO₃^{''}.

⁶ Из HCO₃^{''}.

⁷ Максимальное для Urgeirice в Португалии (недалеко от урановых м-ний), по Lеригге.

⁸ Три анализа и один средний из нескольких. Свободного CO₂ нет; должен быть подкласс N₂?

⁹ Есть Ca- и Na-разности. Есть подкласс CO₂—N₂—O₂? (CO₂— $3,0 \times 10^{-3}$ 0/0), N₂— $6,5 \times 10^{-4}$ 0/0, O₂— $4,9 \times 10^{-4}$ 0/0.

Твердый остаток

$$6,0 \times 10^{-2} - 1,6 \times 10^{-3} \text{ ‰}$$

$$7,5 \times 10^{-3} \text{ ‰}$$

Элементы

$$\text{Fe } 2,9 \times 10^{-2} - 3,5 \times 10^{-3}$$

$$\text{O}^1 1,8 \times 10^{-2} - 4,5 \times 10^{-3}$$

$$\text{C}^2 3,2 \times 10^{-3} - 8,1 \times 10^{-4}$$

$$\text{Cl } 2,9 \times 10^{-3} - 1,1 \times 10^{-3}$$

$$\text{S}^4 2,5 \times 10^{-3} - 3,6 \times 10^{-5}$$

$$\text{Na } 1,8 \times 10^{-3} - 4,0 \times 10^{-4}$$

$$\text{Mg } 1,3 \times 10^{-3} - 1,2 \times 10^{-4}$$

$$\text{Si } 9,8 \times 10^{-4} - 8,4 \times 10^{-4}$$

$$\text{Ca } 2,8 \times 10^{-4} - 6,6 \times 10^{-5}$$

$$\text{K } 2,4 \times 10^{-4} - 1,2 \times 10^{-4}$$

$$\text{Mn } 1,4 \times 10^{-4} - 5,3 \times 10^{-5}$$

$$\text{Cl } 3,4 \times 10^{-3}$$

$$\text{O}^3 3,4 \times 10^{-3}$$

$$\text{C}^5 1,8 \times 10^{-3}$$

$$\text{Ca } 1,5 \times 10^{-3}$$

$$\text{N}^6 7,5 \times 10^{-4}$$

$$\text{Na } 5,5 \times 10^{-4}$$

$$\text{K } 1,8 \times 10^{-4}$$

$$\text{Mg } 1,7 \times 10^{-4}$$

$$\text{Al } 9,8 \times 10^{-5}$$

$$\text{Si } 9,8 \times 10^{-5}$$

$$\text{Sr } 8,8 \times 10^{-5}$$

$$\text{Fe } 2,8 \times 10^{-5}$$

$$\text{H } 1,1 \times 10^{-5}$$

$$\text{S } 2,6 \times 10^{-6}$$

Есть P, J

Органич. вещ. $3,0 \times 10^{-3} - 2,4 \times 10^{-4}$ следы.

722. Обращаясь к второму ряду, в господствующем комплексе которого нет хлора, но есть сера, — к сернистым агротермам — для следующих видов (§ 711) можно дать числовые данные (в ‰):

I. $\text{O}^7 - \text{Fe} - \text{S}$

II. $\text{O} - \text{Na} - \text{S}$

(кислые купоросные)

Твердый остаток

$$3,7 \times 10^{-2}$$

$$1,0 \times 10^{-1}$$

$$9,9 \times 10^{-2} - 6,1 \times 10^{-3}$$

Элементы

$$\text{O}^8 4,9 \times 10^{-2} - 4,0 \times 10^{-3}$$

$$\text{Fe } 3,2 \times 10^{-2} - 1,2 \times 10^{-3}$$

$$\text{O}^9 5,5 \times 10^{-2} - 6,3 \times 10^{-3}$$

$$\text{Na } 2,9 \times 10^{-2} - 4,0 \times 10^{-3}$$

¹ Из CO_3'' (до $1,6 \times 10^{-2} \text{ ‰}$), SO_4'' (до $7,5 \times 10^{-3} \text{ ‰}$), SiO_2 (до $4,6 \times 10^{-3} \text{ ‰}$), NO_3 , (до $4,3 \times 10^{-4} \text{ ‰}$).

² Из CO_3'' . Органич. вещ. не учтено.

³ Из HCO_3' (до $6,7 \times 10^{-4} \text{ ‰}$), CO_2 (до $3,0 \times 10^{-3} \text{ ‰}$).

⁴ Из SO_4'' .

⁵ Из CO_2 и HCO_3' .

⁶ Из N_2 ($4,9 \times 10^{-4} \text{ ‰}$) и NO_3' .

⁷ Повидимому есть разность (тв. ост. $1,0 \times 10^{-1} \text{ ‰}$), богатая Mg — может быть Fe—Al — Mg—H—O—S в Аджаристане (ан. П. Палей. 1929).

⁸ В ионах SO_4'' (до $4,8 \times 10^{-2} \text{ ‰}$), AsO_4''' (до $4,3 \times 10^{-4} \text{ ‰}$), PO_4''' (до $3,3 \times 10^{-5} \text{ ‰}$). Органические вещества ($1,3 \times 10^{-4} - 5,4 \times 10^{-4} \text{ ‰}$) не приняты во внимание. В мицеллах SiO_2 (до $5,0 \times 10^{-3} \text{ ‰}$).

⁹ В ионах SO_4'' (до $5,2 \times 10^{-2} \text{ ‰}$), CO_3'' (до $9,0 \times 10^{-3} \text{ ‰}$), PO_4''' (до $8 \times 10^{-4} \text{ ‰}$), NO_3' (до $1 \times 10^{-4} \text{ ‰}$), SiO_3'' (до $7,6 \times 10^{-3} \text{ ‰}$), мицеллах SiO_2 (до $1,2 \times 10^{-2} \text{ ‰}$). Органич. вещества (до $1,0 \times 10^{-3} \text{ ‰}$) не приняты во внимание.

$$S^1 \quad 2,3 \times 10^{-2} - 1,2 \times 10^{-3}$$

$$\begin{aligned} Ca & 9,2 \times 10^{-3} - 1,5 \times 10^{-4} \\ Al & 5,2 \times 10^{-3} - 1,9 \times 10^{-4} \\ Na & 5,0 \times 10^{-3} - 1,0 \times 10^{-4} \\ Mg & 4,0 \times 10^{-3} - 0,1 \times 10^{-4} \\ Si^5 & 3,6 \times 10^{-3} - 1,5 \times 10^{-5} \\ Cu & 2,8 \times 10^{-3} - 6,6 \times 10^{-5} \\ Cl & 2,6 \times 10^{-3} - 4,9 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S^4 & 1,7 \times 10^{-2} - 2,3 \times 10^{-4} \\ Cl & 1,3 \times 10^{-2} - 8,0 \times 10^{-4} \\ Ca & 9,2 \times 10^{-2} - 2,3 \times 10^{-4} \\ Si^3 & 6,1 \times 10^{-3} - 3,1 \times 10^{-4} \\ C^3 & 3,4 \times 10^{-3} - 4,1 \times 10^{-5} \\ K & 3,4 \times 10^{-3} - 5,4 \times 10^{-5} \\ Fe & 1,5 \times 10^{-3} - 5,0 \times 10^{-7} (0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K & 6,5 \times 10^{-4} - 5,0 \times 10^{-5} \\ N & 5,9 \times 10^{-4} \\ H^7 & 4,3 \times 10^{-4} - 1,7 \times 10^{-5} \\ Mn & 3,6 \times 10^{-4} - 1,0 \times 10^{-5} \\ Zn & 2,9 \times 10^{-4} - 3,7 \times 10^{-5} \\ As^{10} & 2,3 \times 10^{-4} \\ P^8 & 7,4 \times 10^{-5} ? \\ Ni & 3,3 \times 10^{-5} - 8,4 \times 10^{-5} \\ Co & 2,3 \times 10^{-5} - 6,0 \times 10^{-5} \\ Li & 4,6 \times 10^{-6} - 2,2 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mg & 8,7 \times 10^{-4} - 6,0 \times 10^{-5} \\ N^6 & 6,1 \times 10^{-4} - 6,8 \times 10^{-6} \\ Al & 5,3 \times 10^{-4} - 2,1 \times 10^{-5} \\ Mg & 4,2 \times 10^{-4} \\ P^8 & 3,9 \times 10^{-4} - 1,4 \times 10^{-6} \\ H^9 & 4,1 \times 10^{-4} - 1,6 \times 10^{-5} \\ Li & 4,3 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rb & 8,0 \times 10^{-6} - 6,9 \times 10^{-8} \\ Br & 4,0 \times 10^{-6} - 9,0 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

$$Ra \quad 1,5 \times 10^{-11} - 2,0 \times 10^{-14}$$

Есть Cd, F.

Органич. веш. $2,1 \times 10^{-3}$

Есть Cs, As, F, Mn, Sr, Ti, B
Органич. веш. $8,7 \times 10^{-3} - 2,8 \times 10^{-4}$
Rn $2,7 \times 10^{-14} - 2,3 \times 10^{-15}$ (газ)

723

III. O — Ca — S¹¹

IV. O — Cu — Zn — S

Твердый остаток

$$9,3 \times 10^{-2} - 1,1 \times 10^{-2} \quad \text{до } 5,4 \times 10^{-2}$$

Э л е м е н т ы

$$O^{13} \quad 1,2 \times 10^{-1} - 3,4 \times 10^{-3}$$

$$Ca \quad 6,6 \times 10^{-2} - 1,9 \times 10^{-3}$$

$$S^{14} \quad 4,4 \times 10^{-2} - 4,7 \times 10^{-4}$$

$$O^{12} \quad 2,4 \times 10^{-2}$$

¹ Из SO₄¹¹.

² Из мицелл SiO₂, SiO₃¹¹.

³ Из ионов CO₃¹¹ и HCO₃¹¹. CO₂ и органич. веш. не учтены.

⁴ Из SO₄¹¹ H₂S (до $4,8 \times 10^{-3}$ %).

⁵ Из мицелл SiO₂.

⁶ Газообразный азот не принят во внимание. Он повысит, вероятно, положение азота до декады 10^{-3} %. Приняты NH₄⁺.

⁷ Из ионов HAsO₄¹¹, HPO₄¹¹, HSO₄¹¹. Если при As м. б. не связывают водород, то нахождение H₂SO₄ несомненно указывает нахождение водорода, вне молекул воды. Органические вещества не приняты во внимание. Возможно, водород передвинется в декаду 10^{-3} %.

⁸ Ионы PO₄¹¹.

⁹ Ионы HCO₃¹¹, NH₄⁺, H₂S.

¹⁰ Ионы AsO₄¹¹ и HAsO₄¹¹.

¹¹ Есть подкласс CO₂—N₂—O₂ (CO₂ $4,7 \times 10^{-3}$ %, N₂ $4,6 \times 10^{-3}$ %, O₂ $9,9 \times 10^{-4}$ %).

¹² Углекислота (до $4,7 \times 10^0$ %), ионы HCO₃¹¹ (до $4,5 \times 10^{-3}$ %), SO₄¹¹ (до $4,1 \times 10^{-1}$ %), мицеллы SiO₂ (до $2,3 \times 10^{-3}$ %).

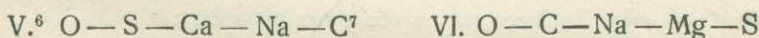
¹³ Ионы SO₄¹¹ ($2,9 \times 10^{-2}$ %), CO₃¹¹ (до $4,3 \times 10^{-3}$ %), CO₂ (до ?), мицеллы SiO₂ (до $1,4 \times 10^{-3}$ %).

¹⁴ Из SO₄¹¹.

		Cu	$22, \times 10^{-2}$
		Zn	$1,2 \times 10^{-2}$
N ¹	$4,6 \times 10^{-3}$	S ²	$9,7 \times 10^{-3}$
Mg	$6,1 \times 10^{-3} - 3,9 \times 10^{-4}$	Ca	$6,1 \times 10^{-3}$
Fe	$2,8 \times 10^{-3} - 1,6 \times 10^{-4}$		
Cl	$2,6 \times 10^{-3} - 2,1 \times 10^{-5}$		
Na	$2,9 \times 10^{-3} - 1,0 \times 10^{-4}$		
K	$2,7 \times 10^{-3} - 9,9 \times 10^{-5}$		
C ⁴	$1,3 \times 10^{-3} - 3,9 \times 10^{-4}$		
Si ³	$1,2 \times 10^{-3} - 5,6 \times 10^{-4}$		
Zn	$9 \times 10^{-4} - ?$		
		C ⁴	$8,6 \times 10^{-4}$
		Si ³	$6,6 \times 10^{-4}$
		Mg	$3,8 \times 10^{-4}$
		Na	$3,6 \times 10^{-4}$
		Cl	$2,6 \times 10^{-4}$
		K	$2,5 \times 10^{-4}$
		Mn	$2,3 \times 10^{-4} ?$
H ⁵	$9,6 \times 10^{-5} - 4,5 \times 10^{-8}$	Fe	$5,9 \times 10^{-5} ?$
Mn	$5,0 \times 10^{-5} - 2,2 \times 10^{-5}$	Cd	$5,4 \times 10^{-5} ?$
J	$1,6 \times 10^{-5}$	Al	$4,3 \times 10^{-5} ?$
Al	$1,6 \times 10^{-5}$		
P	$7,9 \times 10^{-6}$		
Fe	$7,7 \times 10^{-6}$		
Li	$3,0 \times 10^{-7} - ?$		

Органич. вещ. $1,7 \times 10^{-3} - 2,0 \times 10^{-4}$

724.



Т в е р д ы й о с т а т о к

$$1,5 \times 10^{-2} - 9,2 \times 10^{-2} \qquad 4,8 \times 10^{-2} - 9,0 \times 10^{-2}$$

Э л е м е н т ы

$$O^8 \quad 4,3 \times 10^{-2} - 4,8 \times 10^{-3} \qquad O^9 \quad 7,4 \times 10^{-2} - 3,9 \times 10^{-2}$$

¹ Из N₂.

² Из SO₄".

³ Мицеллы SiO₂.

⁴ Ионы HCO₃' и CO₃". Органич. вещество и CO₂ не учтены.

⁵ Ионы HCO₃'. Органич. вещество не учтено.

⁶ Есть 1) азотные источники и 2) углекислые.

$$\begin{array}{ll} N_2 & 2,3 \times 10^{-3} - 2,2 \times 10^{-4} \text{ ‰}, \quad CO_2 \quad 2,3 \times 10^{-2} \text{ ‰} \\ O_2 & 1,5 \times 10^{-5} - 1,0 \times 10^{-5} \text{ ‰}, \\ CO_2 & 0,0\% \end{array}$$

⁷ Источники углекислые и азотные, повидимому, резко различны. Для углекислых есть разности богатые железом и переходы в Ca — O — C — S. Надо иметь в виду, что это два разных минеральных вида, согласно той классификации, которая проводится в этой книге.

⁸ CO₂ не принята во внимание. Из SO₄" (до $3,7 \times 10^{-2}$ ‰), CO₃" (до $2,3 \times 10^{-2}$ ‰, $3,9 \times 10^{-2}$ ‰), HCO₃' (до $3,9 \times 10^{-2}$ ‰), SiO₂ (до $5,7 \times 10^{-3}$ ‰), H₂SiO₃ (до $5,3 \times 10^{-3}$ ‰), HPO₄" (до $3,1 \times 10^{-4}$ ‰).

Если принять во внимание для кислорода и углерода CO₂, то для углекислых источников O — C — Na — S — Ca мы получим (Мариенбад):

$$\begin{array}{l} O \quad 2,2 \times 10^{-1} \times 2,1 \times 10^{-1} \text{ ‰} \\ C \quad 7,0 \times 10^{-2} - 6,9 \times 10^{-2} \text{ ‰} \\ Na \quad 8,3 \times 10^{-3} - 7,4 \times 10^{-3} \text{ ‰ и т. д.} \end{array}$$

⁹ Из HCO₃' (до $5,4 \times 10^{-2}$ ‰), SO₄" (до $1,4 \times 10^{-3}$ ‰), CO₂ (до $2,4 \times 10^{-3}$ ‰).

S ¹	$1,2 \times 10^{-2} - 3,0 \times 10^{-4}$	C ²	$1,9 \times 10^{-2} - 8,1 \times 10^{-3}$
Ca	$1,2 \times 10^{-2} - 1,5 \times 10^{-3}$	Na	$1,8 \times 10^{-2} - 9,2 \times 10^{-3}$
Na ³	$9,1 \times 10^{-3} - 9,9 \times 10^{-4}$	Mg	$9,8 \times 10^{-3} - 5,4 \times 10^{-9}$
Cl	$6,0 \times 10^{-3} - 4,4 \times 10^{-4}$ сл.	S ⁴	$6,3 \times 10^{-3} - 3,3 \times 10^{-3}$
Fe ⁷	$5,9 \times 10^{-3} - 4,9 \times 10^{-5}$	Ca	$3,0 \times 10^{-3} - 1,4 \times 10^{-3}$
C ⁵	$5,4 \times 10^{-3} - 6,3 \times 10^{-4}$	H	$1,3 \times 10^{-3} - 8,3 \times 10^{-4}$
Mg	$3,2 \times 10^{-3} - 6,0 \times 10^{-3}$	Cl	$1,0 \times 10^{-3} - 5,7 \times 10^{-4}$
Al	$3,1 \times 10^{-3} - 6,0 \times 10^{-3}$		
Si	$2,4 \times 10^{-3} - 4,7 \times 10^{-5}$		
N ⁶	$2,3 \times 10^{-3} - 2,7 \times 10^{-4}$		
H ⁸	$7,3 \times 10^{-4} - 2,0 \times 10^{-5}$	K	$9,5 \times 10^{-4} - 1,4 \times 10^{-4}$
K	$7,0 \times 10^{-4} - 2,9 \times 10^{-4}$	Si	$1,6 \times 10^{-4} - 4,0 \times 10^{-5}$
Mn	$3,9 \times 10^{-4} - 3,8 \times 10^{-5}$		
P	$9,9 \times 10^{-5} - 3,3 \times 10^{-8}$	P	$4,4 \times 10^{-5}$
Li	$4,7 \times 10^{-5}$	Fe	$2,1 \times 10^{-5} - 3,9 \times 10^{-5}$
		N	$2,0 \times 10^{-5}$
		Al	$5,3 \times 10^{-6} - 1,1 \times 10^{-6}$
		J	$8,5 \times 10^{-7}$

.....
Ra $2,4 \times 10^{-11}$
.....

Есть HS.
.....

Орган вещ. $1,3 \times 10^{-3} - 4,6 \times 10^{-3}$
.....

Свободно выделяющиеся газы в объемных процентах:

1. N ₂	2. CO ₂ .
N ₂ 93,5	CO ₂ 93,8
CO ₂	N ₂ 6,2
H ₂ S сл.	
Rп $1,2 \times 10^{-17}$ 0/о веса воды	

.....
По опытам Лейтмана (1910) при выпаривании этих вод (Rohitsch) при 0—4° получаются кристаллы лансфордита MgCO₃·5H₂O, а при 13—22° кристаллы несквегонита MgCO₃·3H₂O.

724A

VII.⁹ O — Na — C — Si — S.¹¹ VIII.¹⁰ O — C — Ca — S.¹²

Сухой остаток

$6,8 \times 10^{-2} - 1,7 \times 10^{-2}$ $9,3 \times 10^{-2} - 1,8 \times 10^{-2}$

¹ Из SO₄^{''}.

² Из HCO₃¹, CO₂.

³ Значит и калий.

⁴ Из SO₄^{''}.

⁵ Из HCO₃¹. Для углекислого подкласса кол-во с увеличением до $7,0 \cdot 10^{-2}$ 0/о (Мариенбад).

⁶ Из N₂.

⁷ Для $2,9 \times 10^{-4}$ 0/о: Fe^{''} — $1,5 \times 10^{-4}$ и Fe^{'''} — $1,4 \times 10^{-4}$ 0/о.

⁸ Из HCO₃¹.

⁹ Есть переходы в O — C — Na — Si — S — Cl (Пиринейский тип — § 717). Есть разности более бедные серой и кремнием. Кремний всегда в виде иона SiO₃^{''}; к этому виду принад-

Элементы

O ¹ $3,2 \times 10^{-2} - 2,0 \times 10^{-3}$	O ² $8,0 \times 10^{-2} - 1,9 \times 10^{-3}$
Na ¹⁰ $1,6 \times 10^{-2} - 1,4 \times 10^{-3}$	C ⁴ $1,6 \times 10^{-2} - 2,4 \times 10^{-3}$
	Ca $2,6 \times 10^{-2} - 1,6 \times 10^{-3}$
	Cl $1,1 \times 10^{-2} - \text{сл.}$
C ³ $6,0 \times 10^{-3} - 4,8 \times 10^{-4}$	S $7,6 \times 10^{-3} - 5,9 \times 10^{-4}$
Si $5,2 \times 10^{-3} - 5,6 \times 10^{-4}$	Na $5,2 \times 10^{-3} - 6,4 \times 10^{-5}$
Cl $5,9 \times 10^{-3} - 1,8 \times 10^{-4}$	Mg $3,6 \times 10^{-3} - 6,0 \times 10^{-6}$
H ⁵ $7,0 \times 10^{-3} - 5,8 \times 10^{-6}$	Si $2,4 \times 10^{-3} - 9,3 \times 10^{-5}$
S ⁶ $5,6 \times 10^{-3} - 8,6 \times 10^{-4}$	N ⁷ $2,3 \times 10^{-3} - 1,6 \times 10^{-3}$
N ⁸ $3,0 \times 10^{-3} - 4,0 \times 10^{-4}$	K $1,9 \times 10^{-3} - 2,0 \times 10^{-5} (\text{сл.})$
K $2,0 \times 10^{-3} - 1,2 \times 10^{-4}$	Al $3,0 \times 10^{-3} - 5,3 \times 10^{-6}$
Ca $1,0 \times 10^{-3} - 1,7 \times 10^{-4}$	
Al $4,4 \times 10^{-4} - 5,3 \times 10^{-6}$	H $4,1 \times 10^{-4} - 2,8 \times 10^{-5}$
Mg $3,4 \times 10^{-4} - 3,3 \times 10^{-5} (\text{сл.})$	Mn $3,8 \times 10^{-4}$
Fe $7,2 \times 10^{-4} - 2,0 \times 10^{-6}$	Fe ⁹ $3,6 \times 10^{-4} - 3,8 \times 10^{-5}$
H $2,2 \times 10^{-4} - 6,0 \times 10^{-5}$	P $1,3 \times 10^{-4} - 3,3 \times 10^{-7} (\text{сл.})$
Sr $5,3 \times 10^{-5}$	Li $4,5 \times 10^{-5}$
P $1,4 \times 10^{-5} - 2,8 \times 10^{-7}$	
Li $1,7 \times 10^{-5} - 1,9 \times 10^{-7}$	
Rb $3,0 \times 10^{-6} - 4,0 \times 10^{-6}$	J $1,0 \times 10^{-6} - 1,7 \times 10^{-6}$
Br $1,8 \times 10^{-6} - 1,9 \times 10^{-7}$	
J $2,4 \times 10^{-6}$	
Mn $1,9 \times 10^{-6} - 6,0 \times 10^{-7}$	

Ra $2,4 \times 10^{-10} \text{ } ^{10} \text{ } ^{10}$

Есть В, J, Ca, NH₄, As, Ni, F, Se, He

Есть Li, J, Sr, Pb, Sn, Br, Mo, Ag, Ga, Ge, Ti, S

лежат и некоторые источники, связанные с вулканическим явлением, напр., Унзен в Японии по Т. Matsuo (1931). Они более богаты Fe и H (свободная HCl — в сводке это максимальные числа). Для Fe следующая $9,1 \times 10^{-5} \%$. Особый подвид.

¹⁰ Есть соленые аналоги. Переходы к ним и к магниевым — O — Ca — C — Mg — S.

¹¹ Подкласс N₂. Иногда CO₂ совсем нет (напр. ист. Вармбрунн по Ф. Зонненшейну (1877), Ланден по Л. Мейеру (1863); количество N₂ $2,5 \times 10^{-3} - 2,2 \times 10^{-3} \%$).

¹² Есть подклассы:

1. CO ₂ — N ₂ — O ₂	2. N ₂	3. CO ₂ — N ₂ — H ₂ S	4. CO ₂
CO ₂ $4,2 \times 10^{-3}$	N ₂ $2,2 \times 10^{-3} - 4,0^{-3*}$	CO ₂ $1,8 \times 10^{-2} - 8,3 \times 10^{-3}$	CO ₂ $2,2 \times 10^{-1}$
N ₂ + O ₂ $5,5 \times 10^{-3}$	O ₂ $1,0 \times 10^{-5}$	N ₂ $2,3 \times 10^{-3} - 1,5 \times 10^{-3}$	N ₂ $2,4 \times 10^{-3}$
	CO ₂ 0	H ₂ S $4,6 \times 10^{-3} - 1,2 \times 10^{-3}$	O ₂ $3,2 \times 10^{-4}$
			H ₂ S следы

Содержит O₂

¹ Ионы CO₃^{''} (до $3,0 \times 10^{-2} \%$), SO₄^{''} (до $1,0 \times 10^{-2} \%$), PO₄^{'''} (до $1,6 \times 10^{-6} \%$), мицеллы SiO₂ (до $8,9 \times 10^{-3}$), ионы S₂O₃^{''} (до $4,0 \times 10^{-4} \%$), HCO₃['] (до $1,6 \times 10^{-2}$), CO₂ (до $1,0 \times 10^{-3} \%$; иногда нет).

² Ионы SO₄^{''} (до $2,2 \times 10^{-2} \%$), CO₃^{''} (до $6,8 \times 10^{-2} \%$), PO₄^{'''} (до $4,4 \times 10^{-4}$), S₂O₃^{''} (до $3,8 \times 10^{-4} \%$), своб. CO₂ (до $4,2 \times 10^{-3}$), мицеллы SiO₂ (до $4,8 \times 10^{-3} \%$), HCO₃ (до $4,0 \times 10^{-2}$).

³ Ионы CO₃^{''} и HCO₃['].

⁴ Ионы CO₃^{''} и HCO₃['], газ CO₂.

⁵ Ионы HCO₃['] и H₂S.

⁶ Из SO₄^{''} (до $6,7 \times 10^{-3}$), H₂S (до $8,3 \times 10^{-3} \%$), S₂O₃^{''} (до $2,6 \times 10^{-4} \%$), S^{''} (до $7,4 \times 10^{-4} \%$). Органич. вещества не учтены. NaS['] (resp. Na HS[']) — до $3,1 \times 10^{-3} \%$.

⁷ Газообразный азот.

⁸ Газообразный азот не везде учтен. Из N₂, NO₃['] (считается вторичной).

⁹ Есть числа: $\text{Fe}''/\text{Fe}''' = \frac{1,5 \times 10^{-4}}{1,4 \times 10^{-4}}$.

¹⁰ Источник в Иохимове (Иохимсталь) в Чехии по М. Бегоунку. Na + K $1,8 \times 10^{-2} \%$.

Органич. вещества $3,7 \times 10^{-3} - 1,0 \times 10^{-4}$

Органич. вещества $1,3 \times 10^{-2} - 2,7 \times 10^{-4}$

Своб. выдел. газы (Объемн. %)

Своб. выдел. газы

1 N₂—CO₂

Rn $9,8 \times 10^{-14} - 2,2 \times 10^{-18}$ % выд. вод

N₂ 65,8—57,1

CO₂ 41,8—32,5

O₂ 1,9—1,1

2 N₂

N₂ 99,3—98,9

O₂ 1,1— $6,6 \times 10^{-1}$

Rn $2,5 \times 10^{-14} - 1,4 \times 10^{-4}$

724B. IX. O—S—Na—Ca¹

X. O—Ca—Mg—S

Твердый остаток

До $9,7 \times 10^{-2}$ %— $2,9 \times 10^{-2}$

До $7,6 \times 10^{-2}$ %.

Элементы

O² $1,2 \times 10^{-1} - 3,6 \times 10$

C⁸ $3,8 \times 10^{-2} - 4,2 \times 10^{-4}$

S⁴ $1,6 \times 10^{-2} - 6,7 \times 10^{-2}$

Na $2,2 \times 10^{-2} - 7,0 \times 10^{-2}$

Ca $1,6 \times 10^{-2} - 6,0 \times 10^{-3}$

Si⁶ $6,1 \times 10^{-3} - 2,4 \times 10^{-3}$

K $5,3 \times 10^{-3} - 14 \times 10^{-3}$

Cl $7,9 \times 10^{-3} - 1,9 \times 10^{-3}$

Mg $2,9 \times 10^{-3} - 4,8 \times 10^{-5}$

Fe $1,8 \times 10^{-3} - 0$ сл.

Al $1,4 \times 10^{-4} - ?$

H¹⁰ $5,6 \times 10^{-5} - 7,7 \times 10^{-6} ?$

P $8,6 \times 10^{-6}$

O³ $6,0 \times 10^{-2} - 1,3 \times 10^{-2}$

Ca $1,5 \times 10^{-2} - 5,6 \times 10^{-3}$

Mg $1,5 \times 10^{-2} - 3,4 \times 10^{-3}$

S⁵ $1,3 \times 10^{-2} - 1,2 \times 10^{-3}$

C⁷ $6,6 \times 10^{-3} - 2,4 \times 10^{-3}$

Na $5,7 \times 10^{-3} - 8,8 \times 10^{-4}$

Cl $2,7 \times 10^{-3} - 1,3 \times 10^{-4}$

Si⁹ $1,5 \times 10^{-3} - 8,4 \times 10^{-4}$

K $8,4 \times 10^{-4} - 34 \times 10^{-4}$

Fe $6,0 \times 10^{-5}$

Al $3,9 \times 10^{-5} ?$

B $7,9 \times 10^{-6} - ?$

Sr $5,9 \times 10^{-6} - ?$

Ba $3,6 \times 10^{-6} - ?$

Br $2,0 \times 10^{-6} - ?$

N¹¹ $1,6 \times 10^{-6} - ?$

H¹² $5,9 \times 10^{-6} - ?$

Орган. вещ. $1,3 \times 10^{-3}$ %

¹ Может быть есть разности, богатые Са—переходные в O—S—Ca. Есть подкласс CO₂.

CO₂ $1,4 \times 10^{-1}$ % (Франценсберг).

² Ионы SO₄^{''} (до $4,8 \times 10^{-2}$ %), CO₃^{''} (до $3,3 \times 10^{-3}$), мицеллы SiO₂ (до $1,3 \times 10^{-2}$ %), ионы HCO₃['] (до $3,1 \times 10^{-3}$ %), газ CO₂ (до $1,4 \times 10^{-1}$ %).

³ Ионы SO₄^{''} (до $3,8 \times 10^{-2}$ %), CO₃^{''} (до $3,3 \times 10^{-2}$), B₂O₃ (до $2,5 \times 10^{-5}$), NO₃['] (до $6,0 \times 10^{-6}$ %), мицеллы SiO₂ (до $3,1 \times 10^{-3}$ %).

⁴ Ионы SO₄^{''}, H₂S (до $1,3 \times 10^{-4}$ %).

⁵ Ионы SO₄^{''}, H₂S (до $1,0 \times 10^{-5}$ %).

⁶ Мицеллы SiO₂.

⁷ Ионы CO₃^{''} или HCO₃['].

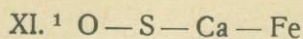
⁸ Из CO₂ главным образом.

⁹ Мицеллы SiO₂.

¹⁰ Из HCO₃['] и H₂S.

¹¹ Только из NO₃. Очевидно—приняв растворенный азот—азот перейдет в декаду 10^{-3} %.

¹² Только из H₂S. Если есть HCO₃[']—то будет больше.



Твердый остаток

6,2 — 10⁻² ‰

1,2 × 10⁻²

Элементы

O 2,6 × 10⁻²

O³ 1,1 × 10⁻²

S 1,2 × 10⁻²

C⁴ 2,1 × 10⁻³

Ca 7,8 × 10⁻³

N⁵ 2,1 × 10⁻³

Fe 4,8 × 10⁻³

Ca 1,5 × 10⁻³

Si 2,9 × 10⁻³

Fe 1,4 × 10⁻³

Mg 1,4 × 10⁻³

Mn 3,2 × 10⁻⁴

Na 7,4 × 10⁻⁴

N⁶ 2,1 × 10⁻⁴

Si 6,1 × 10⁻⁴

Al 1,3 × 10⁻⁴

S 4,0 × 10⁻⁴

Mg 3,4 × 10⁻⁴

K 2,1 × 10⁻⁴

Cl 1,0 × 10⁻⁴

Al 4,4 × 10⁻⁵

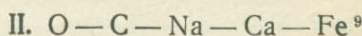
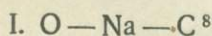
H⁷ 8,8 × 10⁻⁵

Есть Li, Mn.

Орган. вещ. кисл. 7,1 × 10⁻⁴ ‰

725. В третьем ряду в господствующем комплексе компонентов нет ни хлора, ни серы, но есть углерод в виде сложных ионов CO₃^{''}, HCO₃[']. Это углеродистые ахротейды.

Сюда относятся следующие воды:



Твердый остаток

9,4 × 10⁻² — 1,7 × 10⁻² ‰

6,3 × 10⁻² — 2,8 × 10⁻² ‰

¹ Может быть относится к подклассу N₂ — CO₂. Есть переход в Ca — O — S? Анализ Велера одного из источников Roneby.

² Может быть вадозная вода или с ней смешанная.

Подкласс: CO₂ — N₂ — O₂: CO₂ 5,1 × 10⁻³

N₂ 2,1 × 10⁻³

O₂ 1,1 × 10⁻³

Анализ газов требует проверки

³ HCO₃['] (5,1 × 10⁻³ ‰), CO₃ (7,1 × 10⁻⁴ ‰), O₂ (1,1 × 10⁻³), SO₄ (4,0 × 10⁻⁴).

⁴ HCO₃['], CO₃^{''}. Орган. вещ. не учтены.

⁵ NH₃.

⁶ Азот не учтен. Только NH₃.

⁷ Учтены NH₄⁺ и H₂SO₄.

⁸ Есть переходы в O — Na — C — Cl (§ 719) и O — Na — C — S.

Есть подклассы CO₂ — N₂

CO₂ 7,1 × 10⁻² — 3,3 × 10⁻³

N₂ 9,6 × 10⁻³ — 8,6 × 10⁻³

O₂ 2,9 × 10⁻³ — 2,0 × 10⁻⁴

N₂ — CH₄ — CO₂

N₂ 2,6 × 10⁻³

CH₄ 1,1 × 10⁻³

CO₂ 8,8 × 10⁻⁴

O₂ 6,3 × 10⁻⁴

⁹ Есть подкласс углекислый: CO₂ 2,2 × 10⁻³ — 1,7 × 10⁻³

H₂S 5 × 10⁻⁵

Элементы

O^1 $2,0 \times 10^{-1} - 1,9 \times 10^{-2} \text{ ‰}$	
C^2 $6,9 \times 10^{-2} - 4,1 \times 10^{-3}$	
O^* $8,8 \times 10^{-2} - 9,6 \times 10^{-3}$	
Na $3,3 \times 10^{-2} - 1,4 \times 10^{-3}$	
C^3 $2,1 \times 10^{-2} - 1,2 \times 10^{-3}$	
Cl $1,2 \times 10^{-2} - 1,0 \times 10^{-3}$	
S^4 $1,0 \times 10^{-2} - 5,5 \times 10^{-4}$	
N_2 $9,6 \times 10^{-3} - 5,8 \times 10^{-5}$	Na $8,6 \times 10^{-3} - 3,8 \times 10^{-4}$
Ca $6,5 \times 10^{-3} - 1,4 \times 10^{-4}$	Ca $6,4 \times 10^{-3} - 7,3 \times 10^{-4}$
K $3,9 \times 10^{-3} - 2,0 \times 10^{-4}$	Cl $6,1 \times 10^{-3} - 1,4 \times 10^{-4}$
Si $5,2 \times 10^{-3} - 5,6 \times 10^{-4}$	Fe^5 $4,9 \times 10^{-3} - 3,6 \times 10^{-3}$
Mg $2,7 \times 10^{-3} - 2,4 \times 10^{-5}$	K $4,6 \times 10^{-3} - 1,9 \times 10^{-4}$
Fe^6 $1,8 \times 10^{-3} - 2,2 \times 10^{-5}$	Si $4,0 \times 10^{-3} - 1,8 \times 10^{-3}$
Br $1,6 \times 10^{-3} - 2,5 \times 10^{-5}$	M $1,9 \times 10^{-3} - 1,1 \times 10^{-3}$
H $1,4 \times 10^{-3} - 6,0 \times 10^{-5}$	
J $1,6 \times 10^{-3} - 7,1 \times 10^{-5}$	
Sr $5,2 \times 10^{-4}$	H^7 $8,4 \times 10^{-4} - 3,4 \times 10^{-4}$
F $1,0 \times 10^{-4}$	S $5,0 \times 10^{-4} - 1,4 \times 10^{-4}$
B $1,8 \times 10^{-4}$	Mn $1,9 \times 10^{-4} - 8,0 \times 10^{-5}$
Al $1,8 \times 10^{-4} - 5,3 \times 10^{-6} (O)$	
Mn $1,6 \times 10^{-4} - 3,0 \times 10^{-5}$	
Li $5,1 \times 10^{-5} - 4,0 \times 10^{-5}$	Sr $9,1 \times 10^{-5}$
As $1,7 \times 10^{-5} - 7,5 \times 10^{-7} (O)$	Li $8,0 \times 10^{-5} - 20 \times 10^{-5}$
	Al $5,0 \times 10^{-5}$

Есть P, NO₂

Свободно выделенн. газы в
объемн. процентах

I. N₂ — CO₂ — H₂S⁸

N₂ 83,3

CO₂ 15,5
H₂S 1,2⁸

Rn $4,0 \times 10^{-14} - 1,5 \times 10^{-15} \text{ ‰}$
газа, в весе воды

Свободно выделенн. газы в
объемн. процентах

II. CO₂

CO₂ 97,0 — 94,8

N₂ 4,5 — 2,3
O₂ $7,1 \times 10^{-1} - 7,0 \times 10^{-1}$

* Главным образом CO₂ ($2,2 \times 10^{-1} \text{ ‰}$), ионы HCO₃' (до $3,7 \times 10^{-2}$), CO₃" (до $6,9 \times 10^{-3}$), SO₄" (до $2,5 \times 10^{-2} \text{ ‰}$), мицеллы SiO₂ (до $8,5 \times 10^{-3}$), органические вещества (до $1,1 \times 10^{-3} \text{ ‰}$).

¹ Ионы HCO₃' (до $6,3 \times 10^{-2}$), SO₄" (до $2,5 \times 10^{-2}$), CO₃" (до $3,6 \times 10^{-2}$), B₄O₇ (до $6,3 \times 10^{-4} \text{ ‰}$), газы CO₂ (до $2,5 \times 10^{-2} \text{ ‰}$), CSO (до $2,4 \times 10^{-3}$), мицеллы SiO₂ (до $8,1 \times 10^{-3} \text{ ‰}$), ионы NO₃' (до $2,5 \times 10^{-4}$). Газы изучены очень слабо. Орган. веш. (до $1,5 \times 10^{-3}$).

² CO₂ (до $2,2 \times 10^{-1}$), ионы HCO₃' (до $3,7 \times 10^{-2} \text{ ‰}$), CO₃" (до $6,9 \times 10^{-3} \text{ ‰}$), орган. веш. (до $1,1 \times 10^{-3} \text{ ‰}$).

³ Ионы HCO₃' Газы CO₂. Орган. веш.

⁴ Ионы SO₄", H₂S (до $4,4 \times 10^{-3}$).

⁵ М. б. выделение Fe в основной господствующий комплекс может возбуждать сомнение. Требуется исследование.

⁶ Есть Fe" и Fe". Для Алжира (J. Pouget и Chauchas. 1923) Fe" $8,6 \times 10^{-4} \text{ ‰}$, Fe" $3,2 \times 10^{-4} \text{ ‰}$.

⁷ Из HCO₃'. HS' (до $5,0 \times 10^{-5} \text{ ‰}$), H₂SiO₃ (до $1,0 \times 10^{-2}$).

⁸ Сероводород в виду его значения и большой изменчивости и растворимости мне кажется следует учитывать и в таких количествах для характеристики газа.

III. O—Fe—Ca—C¹

IV. O—C—Mg—Ca²

Твердый остаток

$$6,2 \times 10^{-2} - 1,5 \times 10^{-2} \text{ ‰}^3$$

$$7,7 \times 10^{-2} - 5,6 \times 10^{-2} \text{ ‰}^4$$

Элементы

O ⁵	$3,7 \times 10^{-2} - 7,2 \times 10^{-3}$
C ⁷	$8,1 \times 10^{-3} - 1,2 \times 10^{-3}$
Ca	$7,3 \times 10^{-3} - 1,2 \times 10^{-3}$
Fe	$4,8 \times 10^{-3} - 1,3 \times 10^{-3}$
Si ⁸	$3,7 \times 10^{-3} - 4,7 \times 10^{-4}$
N	$3,0 \times 10^{-3}$
Mg	$2,3 \times 10^{-3} - 1,0 \times 10^{-4}$
Na	$7,8 \times 10^{-4} - 1,4 \times 10^{-4}$
H ⁹	$6,6 \times 10^{-4} - 1,4 \times 10^{-4}$
Cl	$5,9 \times 10^{-4} - 1,1 \times 10^{-4}$
Si ¹⁰	$2,2 \times 10^{-4} - 1,0 \times 10^{-5}$
K	$1,8 \times 10^{-5} - 1,7 \times 10^{-5}$
Mn	$5,9 \times 10^{-5} - 5,0 \times 10^{-6}$
P	$1,8 \times 10^{-5}$
Al	$1,6 \times 10^{-5}$

O ⁶	$2,0 \times 10^{-1} - 2,6 \times 10^{-2}$
C ⁷	$6,4 \times 10^{-2} - 5,6 \times 10^{-3}$
Mg	$7,6 \times 10^{-3} - 2,6 \times 10^{-3}$
Ca	$6,6 \times 10^{-3} - 1,5 \times 10^{-3}$
Si ⁸	$3,2 \times 10^{-3} - 2,6 \times 10^{-3}$
Na	$2,9 \times 10^{-3} - 7,3 \times 10^{-4}$
Fe	$1,8 \times 10^{-3} - 6,0 \times 10^{-5}$
J ¹¹	$1,3 \times 10^{-3} - 3,0 \times 10^{-4}$
Al	$1,6 \times 10^{-4} - 1,9 \times 10^{-5}$
N	$7,8 \times 10^{-4}$
K	$1,0 \times 10^{-4} - 4,3 \times 10^{-4}$
Cl	$1,2 \times 10^{-4}$
Mn	$9,9 \times 10^{-5}$
P	$4,0 \times 10^{-6}$

Есть Li, As.

Орган. вещ. $2,4 \times 10^{-3} \text{ ‰}$

Орган. вещ. $2,4 \times 10^{-4}$

Свободно выделяющиеся газы¹¹

CO ₂	99,50
N ₂	0,438
O ₂	0,05
Ar	9,0091 (следы K и X)
H ₂	0,0008
He + N ₂	0,0008
Nt	$2,6 \times 10^{-18} \text{ ‰}$ газа в весе воды

¹ Есть разности более бедные и богатые железом.

² Есть разности магниевые (где Mg > Ca) и кальциевые (где Ca > Mg). Может быть есть железистые разности.

³ Есть подкласс CO₂ — для кальциевых:

$$\text{CO}_2 \quad 2,3 \times 10^{-1} \quad \text{CO}_2: \quad \text{N}_2 \quad 7,8 \times 10^{-4}$$

⁴ Есть подкласс CO₂ — N₂:

$$\text{CO}_2 \quad 6,7 \times 10^{-3} \quad \text{O}_2 \quad 1,4 \times 10^{-4}$$

$$\text{N}_2 \quad 3,0 \times 10^{-3} \quad \text{H}_2\text{S} \text{ следы}$$

⁵ Из HCO₃' (до $4,0 \times 10^{-2}$), SO₄" (до $6,5 \times 10^{-4}$), SiO₂ (до $6,0 \times 10^{-3} \text{ ‰}$)

⁶ Из CO₃" (до $6,1 \times 10^{-2}$), SO₄" (до $4,0 \times 10^{-3}$), SiO₂ (до $8,1 \times 10^{-3} \text{ ‰}$), CO₂ (до $2,3 \times 10^{-1} \text{ ‰}$).

⁷ Из CO₃".

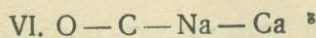
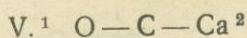
⁸ Из SiO₂".

⁹ Из HCO₃'.

¹⁰ Из SO₄".

¹¹ Анализ А. Лераре и М. Geolin (1930) источника в Камеруне. Тв. ост. $9,1 \times 10^{-2} \text{ ‰}$.

727.



Твердый остаток

$$9,7 \times 10^{-2} - 1,6 \times 10^{-3} \%$$

$$9,6 \times 10^{-2} - 1,3 \times 10^{-3} \%$$

Элементы

$$O^4 \quad 2,5 \times 10^{-1} - 4,5 \times 10^{-3}$$

$$O^5 \quad 2,6 \times 10^{-1} - 4,5 \times 10^{-3}$$

$$C^6 \quad 8,6 \times 10^{-2} - 8,3 \times 10^{-4}$$

$$C^6 \quad 9,1 \times 10^{-2} - 5,9 \times 10^{-4}$$

$$Ca \quad 1,8 \times 10^{-2} - 9,4 \times 10^{-4}$$

$$Na \quad 1,7 \times 10^{-2} - 4,4 \times 10^{-4}$$

$$Si^7 \quad 1,4 \times 10^{-2} - 2,8 \times 10^{-4}$$

$$Ca \quad 1,6 \times 10^{-2} - 2,2 \times 10^{-4}$$

$$Cl \quad 1,3 \times 10^{-2} - 6,0 \times 10^{-5}$$

$$Cl \quad 1,2 \times 10^{-2} - 1,0 \times 10^{-4}$$

$$Na \quad 9,3 \times 10^{-3} - 1,1 \times 10^{-4}$$

$$K \quad 6,0 \times 10^{-3} - 4,1 \times 10^{-5}$$

$$K \quad 8,5 \times 10^{-3} - 5,0 \times 10^{-5}$$

$$Mg \quad 5,4 \times 10^{-3} - 2,0 \times 10^{-5}$$

$$S^8 \quad 7,7 \times 10^{-3} - 4,0 \times 10^{-5}$$

$$S^8 \quad 5,1 \times 10^{-3} - 4,8 \times 10^{-5}$$

$$Mg \quad 7,5 \times 10^{-3} - 5,3 \times 10^{-5}$$

$$Fe \quad 5,0 \times 10^{-3} - 3,8 \times 10^{-5}$$

$$Fe \quad 5,0 \times 10^{-3} - 2,0 \times 10^{-6}$$

$$Si^9 \quad 4,9 \times 10^{-3} - 9,4 \times 10^{-5}$$

$$N^{10} \quad 4,0 \times 10^{-3} - 1,5 \times 10^{-3}$$

$$Al \quad 1,6 \times 10^{-3} - 7,0 \times 10^{-6}$$

$$H^{11} \quad 1,2 \times 10^{-3} - 4,0 \times 10^{-6}$$

$$N^{12} \quad 10^{-3}$$

$$Al \quad 1,1 \times 10^{-3} - 2,8 \times 10^{-6}$$

$$H^{13} \quad 1,3 \times 10^{-3} - 4,0 \times 10^{-7}$$

$$Mn \quad 2,3 \times 10^{-3} - 3,7 \times 10^{-6}$$

¹ Есть подклассы:

1. Углекислые

$$CO_2 \quad 2,7 \times 10^{-1} - 1,9 \times 10^{-1}$$

$$N_2 \quad 1,6 \times 10^{-3} - 7,7 \times 10^{-4}$$

$$O_2 \quad 7,9 \times 10^{-5}$$

2. Углекисло-азотные

$$CO_2 \quad 9,9 \times 10^{-3} - 8,8 \times 10^{-3}$$

$$N_2 \quad 1,6 \times 10^{-3} - 1,6 \times 10^{-3}$$

$$H_2S \quad 4,2 \times 10^{-4} - 3,4 \times 10^{-3}$$

3. Азотно-углекислые

$$N_2 \quad 2,1 \times 10^{-3} - 2,2 \times 10^{-3}$$

$$CO_2 \quad 1,2 \times 10^{-3} - 1,4 \times 10^{-3}$$

$$O_2 \quad 7,2 \times 10^{-4}$$

4. Азотные

$$N_2 \quad \left. \begin{array}{l} 4,0 \times 10^{-3} \\ O_2 \end{array} \right\}$$

$$CO_2 - 0$$

² Углекислые подклассы резко выделяются по количеству кислорода и углерода. Повидному от них (две разности богатых Si и может быть Mg) есть переходы в углекислые $O-C-Na-S-Ca$ (§ 721). Здесь мы имеем (Мариенбад)

$$O \quad 2,5 \times 10^{-1} - 1,8 \times 10^{-1}$$

$$C \quad 8,4 \times 10^{-2} - 6,2 \times 10^{-2}$$

$$Ca \quad 6,5 \times 10^{-3} - 3,0 \times 10^{-3}$$

$$Si \quad 3,2 \times 10^{-3} - 1,7 \times 10^{-3}$$

(все остальные элементы могут давать в преобладающих случаях 10^{-3} , но обычно O переходит в декаду 10^{-4} . В декаде 10^{-3} процентное их количество меньше $3,0 \times 10^{-2}$?)

³ Есть переходы в $O-C-Na-Ca-Cl$.

⁴ Из CO_2 (до $2,7 \times 10^{-1}$), ионов HCO_3' (до $7,8 \times 10^{-2} \%$), CO_3'' (до $2,5 \times 10^{-2}$), SO_4'' (до $4,4 \times 10^{-3} \%$), NO_3' (до $2,6 \times 10^{-4} \%$), орган. веш. (до $2,9 \times 10^{-3} \%$). Мицеллы SiO_2 (до $6,9 \times 10^{-3} \%$), H_2SiO_3 (до $8,2 \times 10^{-3}$).

⁵ CO_2 (до $3,0 \times 10^{-1} \%$), ионы HCO_3' (до $8,2 \times 10^{-2} \%$), SO_4'' (до $1,2 \times 10^{-2} \%$). Органич. вещества (до $1,4 \times 10^{-3} \%$). Мицеллы SiO_2 (до $2,7 \times 10^{-3} \%$).

⁶ Из CO_2 , CO_3'' , HCO_3' . Орган. веш. не учтены.

⁷ Из SiO_2 .

⁸ Из SO_4'' , HS' (до $2,0 \times 10^{-4} \%$); орган. веш. не учтены.

⁹ Из SiO_2 .

¹⁰ Главным образом NH_4^+ (до $10^{-4} \%$), NO_3' (до $5,2 \times 10^{-5} \%$).

¹¹ В виде иона HCO_3' (до $6,6 \times 10^{-2} \%$), NH_4^+ (до $4,2 \times 10^{-4} \%$), органич. веществ (до $1,8 \times 10^{-3} \%$), H_2S .

¹² В виде NH_4^+ — $1,6 - 1,8 \times 10^{-6} \%$ N (Yellowstone).

¹³ В виде иона HCO_3' (до $8,2 \times 10^{-2} \%$), H_2S (до $1,7 \times 10^{-3} \%$), органических веществ (до $1,4 \times 10^{-3} \%$), NH_4^+ .

Br	$2,8 \times 10^{-4} ?$	Mn	$4,9 \times 10^{-4} - 2,8 \times 10^{-7}$ (сл.)
Rb	$2,4 \times 10^{-4}$	Li	$1,1 \times 10^{-4} - 5,0 \times 10^{-7}$
Se	$2,0 \times 10^{-4} ?$	P	$6,0 \times 10^{-4} - 8,0 \times 10^{-5}$
Li	$1,1 \times 10^{-4} - 1,6 \times 10^{-5}$		
Ba	$8,9 \times 10^{-5} - 7,7 \times 10^{-7}$	As	$3,6 \times 10^{-5} - 1,1 \times 10^{-5}$
P	$8,2 \times 10^{-5} - 1,1 \times 10^{-6}$	Sr	$1,3 \times 10^{-5} - 6,9 \times 10^{-6}$
Sr	$8,3 \times 10^{-5} - 3,3 \times 10^{-7}$		
Cu	$2,0 \times 10^{-5}$		
J	$1,7 \times 10^{-6} - 3,4 \times 10^{-7}$	Ba	$8,2 \times 10^{-6} -$
		Br	$2,0 \times 10^{-6} ?$
		J	$1,0 \times 10^{-6} ?$

Rn $1,3 \times 10^{-11} - 6,2 \times 10^{-15}$ (в газах)

Есть: As, Sn, Cu
Pb

B, Rb, Ni, Co, Pb, Sn, Ga, Cu

Орган. вещ. $1,0 \times 10^{-2} - 8,0 \times 10^{-4}$

Гумусовых: $1,1 \times 10^{-3} - 2,4 \times 10^{-5}$

Смолистых: $5,9 \times 10^{-5} - 2,0 \times 10^{-5}$

Свободно выделенн. газы в объемн. %

	1. CO ₂ — N ₂		1. N ₂ (большие пузыри) 2. CO ₂
CO ₂	86,9 — 83,3	N ₂	90,0 CO ₂ 98,5%
N ₂	16,0 — 12,6	O ₂	8,7 N ₂ 1,3
O ₂	$1,7 \times 10^{-1} - 5,0 \times 10^{-1}$	CO ₂	$7,7 \times 10^{-1}$ O ₂ $2,0 \times 10^{-1}$
H ₂ S	сл.		
	2. CO ₂		
CO ₂	95,1		
N ₂	4,2		
O ₂	$6,9 \times 10^{-1}$		
Rn	$4,1 \times 10^{-12} - 8,2 \times 10^{-16}$ %		
	газа в весе воды		

728. Надо отметить еще довольно редкую воду O—Mg—Na—C—Ca (один из источников в Спа) и VIII—O—Ca—Si—C—Mg (Арканзас — горячие).

VII. O—Mg—Na—C—Ca

VIII. ¹ O—Ca—Si—C—Mg ²

Твердый остаток

$5,7 \times 10^{-2}$

$2,0 \times 10^{-2}$

Элементы

O⁵ $2,7 \times 10^{-2}$

O³ $1,4 \times 10^{-2}$

Mg $7,2 \times 10^{-3}$

Ca $4,7 \times 10^{-3}$

Na $5,6 \times 10^{-3}$

C⁴ $2,8 \times 10^{-3}$

C⁶ $5,3 \times 10^{-3}$

Si $2,0 \times 10^{-3}$

¹ Есть разности бедные Mg (и богатые Fe?)

² Подкласс CO₂ — N₂: CO₂ $5,6 \times 10^{-3}$
N₂ $1,0 \times 10^{-3}$
O₂ $3,6 \times 10^{-4}$

³ Из CO₃^{''} ($8,3 \times 10^{-3}$), SO₄^{''} ($7,9 \times 10^{-4}$), PO₄^{'''} ($6,0 \times 10^{-6}$), NO₃['] ($4,6 \times 10^{-5}$), CO₂ ($5,6 \times 10^{-3}$ 0/0), O₂ ($3,6 \times 10^{-4}$ 0/0), HCO₃['] ($8,4 \times 10^{-3}$).

⁴ Из CO₃^{''} и CO₂.

⁵ Из CO₃^{''} ($2,7 \times 10^{-2}$), SO₄^{''} ($3,9 \times 10^{-4}$), HPO₄['] ($2,10^{-4}$).

⁶ Из CO₃^{''}.

Ca	$5,2 \times 10^{-3}$	Mg	$1,2 \times 10^{-3}$
Si	$3,4 \times 10^{-3}$	N ¹	$1,0 \times 10^{-3}$
Cl	$3,2 \times 10^{-3}$		
Fe	$2,3 \times 10^{-3}$		
K	$4,6 \times 10^{-4}$	Na	$4,8 \times 10^{-4}$
S ⁴	$1,3 \times 10^{-4}$	Cl	$2,5 \times 10^{-4}$
P	$6,4 \times 10^{-5}$	S ²	$2,6 \times 10^{-5}$
Al	$2,8 \times 10^{-5}$	Mn	$3,4 \times 10^{-5}$
		K	$1,6 \times 10^{-5}$
		B	$1,6 \times 10^{-5}$
H ⁵	$2,0 \times 10^{-6}$	P	$2,0 \times 10^{-6}$
		H ³	$1,3 \times 10^{-6}$

729. Четвертый ряд состоит из источников, в господствующем комплексе которых нет ни Cl, ни S.

Из немногих анализированных можно отметить (в весовых %):

I	II
O — Ca — P	O — B — Mg — Si ⁶
(Viry, Seine и Oise, ан. A. Bourgoin)	

Твердый остаток

$4,9 \times 10^{-2} \%$	Элементы	$6,9 \times 10^{-2} \%$
O ⁷ $2,1 \times 10^{-2}$		O ⁸ $3,9 \times 10^{-2}$
Ca $1,5 \times 10^{-2}$		
P $3,6 \times 10^{-3}$		B $7,6 \times 10^{-3}$
Cl $2,5 \times 10^{-3}$		Mg $6,9 \times 10^{-3}$
C $1,9 \times 10^{-3}$		Si $6,6 \times 10^{-3}$
Na $1,6 \times 10^{-3}$		Ca $4,2 \times 10^{-3}$
S $1,2 \times 10^{-3}$		S $2,9 \times 10^{-3}$
		Na $2,2 \times 10^{-3}$
Si $9,4 \times 10^{-4}$		Al $5,1 \times 10^{-4}$
N $7,0 \times 10^{-4}$		Fe $1,3 \times 10^{-4}$
Mg $5,9 \times 10^{-4}$		

730. Подцарство вулканических и гейзерных пресных вод начинает сейчас более точно выясняться.

Более точные данные об этих водах получены в последнее время, благодаря работам Вашингтонской лаборатории им. Карнеги.

Воды 1—3 отвечают по данным Э. Т. Аллена (1925) горячим источникам пика Лассена в Калифорнии. Воды горячих источников и горячих грязевых сопков (отвечающих им озеровидных водоемов) имеют близкий состав и не могут быть пока разделены; может быть разница будет в дальнейшем уловлена.⁹

¹ Из N₂, NO₃['], NH₄⁺ ($6,0 \times 10^{-6}$).

² Из SO₄^{''}.

³ Из NH₄⁺.

⁴ Из SO₄^{''}.

⁵ Из HPO₄^{''}, м. б. ион PO₄^{'''}.

⁶ Bather Spring, Калифорния. Анализ Андерсона.

⁷ Ионы CO₃^{''} (до $9,6 \times 10^{-3}$), PO₄^{'''} (до $1,1 \times 10^{-2}$), NO₃['] (до $3,0 \times 10^{-3}$). Мицеллы SiO₂ (до $2,0 \times 10^{-3}$).

⁸ Из SO₄^{''} (до $8,8 \times 10^{-3}$), BO₃^{''} (до $3,3 \times 10^{-2}$), SiO₂ (до $1,4 \times 10^{-2}$).

⁹ В анализах сопков не указана CO₃^{''}, которая отсутствует и в горячих источниках. Но едва ли можно сомневаться в присутствии CO₂ в источниках. Для воды сопков возможно допустить нахождение чисто азотных вод.

Благодаря размеру выходов таких источников поглощение ими кислорода воздуха происходит быстрее, чем в обычных источниках, и на поверхности существуют воды этого типа, богатые кислородом (озеро-видные водоемы).

Здесь можно различить две разности вод: более соленые, богатые железом (I), и чисто пресные, бедные или не заключающие железа: Na — Si — O — S, отвечающие гейзерным водам, но повидимому богатые растворенным кислородом (вторичным) — II и III. Для них, может быть, есть разности, богатые H_2S .

I. O — S — Fe — Si

Твердый остаток (‰)

$$1,0 \times 10^{-1} - 1,1 \times 10^{-2}$$

Элементы (‰)

$$O^1 \quad 6,2 \times 10^{-2} - 6,2 \times 10^{-3}$$

$$S^2 \quad 2,2 \times 10^{-2} - 1,2 \times 10^{-3}$$

$$Fe \quad 1,5 \times 10^{-2} - 7,0 \times 10^{-4}$$

$$Si^3 \quad 1,2 \times 10^{-2} - 1,2 \times 10^{-3}$$

$$Ca \quad 6,1 \times 10^{-3} - 5,0 \times 10^{-4}$$

$$Na \quad 5,8 \times 10^{-3} - 5,5 \times 10^{-4}$$

$$N^4 \quad 4,0 \times 10^{-3} - ?$$

$$Al \quad 3,2 \times 10^{-3} - 0$$

$$Mg \quad 1,8 \times 10^{-3} - 0 (1,5 \times 10^{-4} ?)$$

$$K \quad 1,8 \times 10^{-3} - 4,0 \times 10^{-4}$$

$$H^5 \quad 1,1 \times 10^{-3} - 5,7 \times 10^{-5}$$

$$B^6 \quad 6,5 \times 10^{-4} - 0$$

$$Cl \quad 6,0 \times 10^{-4} - 0$$

$$C^7 \quad 4,2 \times 10^{-4} - ?$$

От этих вод есть все переходы в соленые воды (до $1,5 \times 10^{-1}$ ‰ солевого остатка).

731. Для вод, лишенных железа (или им бедных), можно установить два вида: II — Na — O — Si — S и III — Na — O — Si — C — (S) (Иеллоустон).

Числа (в ‰) — следующие:

II. O — Si — Na — SO_4

III. O — Na — Si — C

Твердый остаток

$$3,4 \times 10^{-2} - 1,7 \times 10^{-2}$$

$$6,8 \times 10^{-2} - 4,7 \times 10^{-2}$$

Элементы

$$O^8 \quad 2,9 \times 10^{-2} - 3,4 \times 10^{-2}$$

$$Si \quad 1,0 \times 10^{-2} - 1,9 \times 10^{-3}$$

$$Na \quad 9,7 \times 10^{-3} - 1,6 \times 10^{-3}$$

$$O^9 \quad 2,9 \times 10^{-2}$$

$$Na \quad 1,3 \times 10^{-2} - 5,7 \times 10^{-3}$$

$$Si \quad 1,2 \times 10^{-2} - 7,0 \times 10^{-3}$$

$$Cl \quad 9,5 \times 10^{-3} - \text{сл.}$$

¹ Из SO_4 (до $6,8 \times 10^{-2}$ ‰), SiO_2 (до $2,4 \times 10^{-2}$ ‰), CO_3 (до $2,7 \times 10^{-3}$ ‰), B_2O_3 (до $2,1 \times 10^{-3}$ ‰).

² Из SO_4 .

³ Из SiO_2 .

⁴ Из NH_4^+ (до $5,1 \times 10^{-3}$ ‰). N_2 растворенный не учтен.

⁵ Из NH_4^+ и ионов HSO_4^- .

⁶ Из B_2O_3 .

⁷ Из CO_3 . CO_2 не учтена.

⁸ Из SiO_2 (до $2,2 \times 10^{-2}$ ‰), CO_3 (до $1,3 \times 10^{-2}$ ‰), SO_4 (до $9,5 \times 10^{-3}$ ‰), B_2O_3 (до $6,0 \times 10^{-5}$ ‰), CO_2 не учтена.

⁹ Из CO_3 (до $2,5 \times 10^{-2}$ ‰), SO_4 (до $1,4 \times 10^{-2}$ ‰).

S ¹	$3,1 \times 10^{-3} - 1,2 \times 10^{-3}$	C ²	$5,9 \times 10^{-3}$
C ²	$2,6 \times 10^{-3} - 3,1 \times 10^{-4}$	S ¹	$4,8 \times 10^{-3} - 1,3 \times 10^{-3}$
Cl	$2,6 \times 10^{-3} - 0$	Ca	$1,2 \times 10^{-3}$
Ca	$2,4 \times 10^{-3} - 1,8 \times 10^{-4}$	K	$1,2 \times 10^{-3} - 9,7 \times 10^{-4}$
K	$1,1 \times 10^{-3} - 4,0 \times 10^{-4}$		
Mg	$9,0 \times 10^{-4} - 1,0 \times 10^{-4}$	Mg	$1,0 \times 10^{-4} - \text{сл.}$
B	$6,2 \times 10^{-5} - 1,9 \times 10^{-5}$	Li	$8,0 \times 10^{-5} - \text{сл.}$

Есть Mn (всегда), Fe (иногда).

Al + Fe (до $1,5 \times 10^{-3}$).

732. Недавно (1927) к этим анализам прибавились новые, заставляющие выделить новые типы вод, богатых аммонием, образовавшихся из горячих водяных паров — гейзерных (§ 513). Это воды, существующие, повидимому, в разных местах земной коры как особое семейство, — должно быть, очень разнообразные. Они изучены Дэем и Алленом для источников в графстве Сонома в Калифорнии.

Можно здесь выделить пока следующие воды: I — N — S — O — Mg — C, II — O — S — C — N и III — O — S — Mg — N.

Растворенные газы не учтены. Данные приведены в ‰.

Твердый остаток

8,1 — $8,4 \times 10^{-2}$	$8,3 \times 10^{-2}$	$3,6 \times 10^{-3}$
I. O — S — N — Mg	II. O — S — C — N	III. O — S — Mg — N
Элементы		
O ³ $5,3 \times 10^{-2} - 3,9 \times 10^{-3}$	O ⁴ $5,5 \times 10^{-2}$	O ⁵ $1,8 \times 10^{-2}$
	S ⁶ $2,3 \times 10^{-2}$	
S ⁷ $9,3 \times 10^{-3} - 8,0 \times 10^{-3}$	N ⁸ $7,8 \times 10^{-3}$	S ⁷ $7,7 \times 10^{-3}$
Mg $8,7 \times 10^{-3} - 7,6 \times 10^{-3}$	Mg $5,5 \times 10^{-3}$	Mg $3,6 \times 10^{-3}$
C ⁹ $7,0 \times 10^{-3} - 5,7 \times 10^{-3}$	Si ¹⁰ $3,9 \times 10^{-3}$	Si ¹⁰ $2,4 \times 10^{-3}$
Si ¹⁰ $5,7 \times 10^{-3} - 5,2 \times 10^{-4}$	Ca $3,3 \times 10^{-3}$	N ¹¹ $2,4 \times 10^{-3}$
Ca $5,3 \times 10^{-3} - 4,2 \times 10^{-3}$	C ⁹ $2,1 \times 10^{-3}$	
N ¹² $2,9 \times 10^{-3} - 1,8 \times 10^{-3}$		
H ¹³ $1,3 \times 10^{-3} - 9,4 \times 10^{-4}$		
Na $4,1 \times 10^{-4} - 2,0 \times 10^{-4}$	Na $6,0 \times 10^{-4}$	H ¹³ $7,0 \times 10^{-4}$
Cl $1,8 \times 10^{-4} - 1,5 \times 10^{-4}$	K $6,0 \times 10^{-4}$	Cu $6,0 \times 10^{-4}$
	H ¹³ $3,8 \times 10^{-4}$	Fe $3,0 \times 10^{-4}$
	Fe $2,0 \times 10^{-4}$	
K $1,0 \times 10^{-4}$		
Fe $1,0 \times 10^{-4}$		

¹ Из SO₄''.

² Из CO₃''; CO₂ не учтена.

³ Из SO₄'' (до $2,8 \times 10^{-2}‰$), HCO₃' (до $2,8 \times 10^{-2}‰$), CO₃'' (до $1,6 \times 10^{-3}‰$), SiO₂ (до $1,1 \times 10^{-2}‰$).

⁴ Из SO₄'' (до $4,97 \times 10^{-2}‰$), HCO₃' (до $9,9 \times 10^{-3}‰$), CO₃'' (до $5 \times 10^{-4}‰$), SiO₂ (до $8,2 \times 10^{-3}‰$), S₂O₃ (до $1,6 \times 10^{-3}‰$).

⁵ Из SO₄'' (до $2,3 \times 10^{-2}$), SiO₂ (до $5,1 \times 10^{-3}$).

⁶ Из S₂O₃'', SO₄''; не принят во внимание H₂S.

⁷ Из SO₄''.

⁸ Из NH₄⁺ (до $1,0 \times 10^{-2}‰$). Растворенный азот не учтен.

⁹ Из HCO₃'', CO₃''.

¹⁰ Из SiO₂.

¹¹ Из NH₄⁺ ($3,1 \times 10^{-3}‰$). Растворенный N₂ не учтен.

¹² Из NH₄⁺ ($3,7 \times 10^{-3}$ до $2,3 \times 10^{-3}‰$). Растворенный N₂ не учтен.

¹³ Из NH₄⁺, HCO₃'.

Мп $3,5 \times 10^{-5}$

Cl $5,0 \times 10^{-5}$
Мп $3,3 \times 10^{-5}$

Мп 3×10^{-5}

733. Серноаммониевые воды—O—S—N, связанные с гейзерными водяными парами, имеют для Йеллоустона и для Сономы в Калифорнии следующий состав (в ‰):

IV. O—S—N—(H)¹

Твердый остаток

$2 \times 10^{-2} - 9,0 \times 10^{-2}$

Элементы

O ²	$4,4 \times 10^{-2} - 6,8 \times 10^{-3}$
S ³	$2,0 \times 10^{-2} - 2,4 \times 10^{-3}$
N ⁴	$1,2 \times 10^{-2} - 1,8 \times 10^{-3}$
Fe	$8,3 \times 10^{-3} - 3,0 \times 10^{-4}$
Si ⁵	$2,3 \times 10^{-3} - 7,3 \times 10^{-5}$
H ⁶	$3,4 \times 10^{-3} - 5,1 \times 10^{-4}$
Mg	$6,0 \times 10^{-4} - 7,4 \times 10^{-5}$
Ca	$4,0 \times 10^{-4} - 1,0 \times 10^{-4}$
Al	$3,0 \times 10^{-4} - 2,0 \times 10^{-5}$
Na	$3,0 \times 10^{-4} - 3,7 \times 10^{-5}$
Cl	$1,3 \times 10^{-4}$
K	$1,0 \times 10^{-4} - 2,3 \times 10^{-5}$
B	$4,5 \times 10^{-5}$
Li	$1,0 \times 10^{-5}$

734. Формы, которые принимают гейзерные воды, бывают очень различны. Так, например, большая гейзерная область севера Новой Зеландии дает ручьи, речки, озера. По анализу Ф. Григга (F. Grigg), вода отвечает (15 анализов) воде O—Na—Cl—C—Si (V). Другие гейзерные воды бедны CO₂ и дают воду O—Na—Cl—Si (VI).

V. O—Na—Cl—C—Si.

VI. O—Na—Cl—Si.

Твердый остаток

$5,9 \times 10^{-2} - 7,6 \times 10^{-3}$

$8,0 \times 10^{-2} - ?$

Элементы

O ⁷	$2,0 \times 10^{-2} - 3,5 \times 10^{-3}$	O ⁸	$5,5 \times 10^{-2} - 5,4 \times 10^{-3}$
Na	$1,6 \times 10^{-2} - 1,8 \times 10^{-3}$	Na	$2,4 \times 10^{-2} - 5,8 \times 10^{-3}$
Cl	$1,2 \times 10^{-2} - 8,8 \times 10^{-4}$	Cl	$1,9 \times 10^{-2} - 2,8 \times 10^{-4}$
		Si	$4,8 \times 10^{-2}$
C ⁹	$2,7 \times 10^{-3} - 1,7 \times 10^{-4}$	S ¹⁰	$7,7 \times 10^{-3} - 8,0 \times 10^{-4}$

¹ Очень возможно, что есть две разности: O—S—N—H и O—S—N—Fe—H.

² Из SO₄^{''} (до $6,1 \times 10^{-2}‰$), SiO₂ (до $4,9 \times 10^{-3}‰$).

³ Из SO₄^{''}.

⁴ Из NH₄⁺ (до $1,5 \times 10^{-2}‰$), связан с SO₄^{''}. Не принят во внимание, но, возможно, связан с SiO₂.

⁵ Из SiO₂.

⁶ Из NH₄⁺, из щелочности раствора. Не принят связанный с SiO₂.

⁷ Из SO₄^{''} (O—до $7,7 \times 10^{-3}‰$), HCO₃['] (до $1,4 \times 10^{-2}‰$), SiO₃^{''} (до $6,1 \times 10^{-3}‰$).

⁸ Ионы SO₄^{''} (до $2,3 \times 10^{-2}‰$), CO₃^{''} (до $7,8 \times 10^{-2}‰$), AsO₄^{'''} (до $2,3 \times 10^{-4}‰$), B₄O₇ (до $3,4 \times 10^{-3}‰$), NO₃['] (до $3,0 \times 10^{-5}‰$), мицеллы SiO₂ (до $4,0 \times 10^{-2}‰$).

⁹ Из CO₃^{''} и HCO₃[']. Растворенная CO₂ не принята во внимание.

¹⁰ Из SO₄^{''}.

S	$2,5 \times 10^{-3}$	—	$1,5 \times 10^{-4}$	C ¹	$4,2 \times 10^{-3}$	—	$5,1 \times 10^{-4}$
Si	$2,3 \times 10^{-3}$	—	$1,6 \times 10^{-4}$	K	$4,0 \times 10^{-3}$	—	$5,2 \times 10^{-4}$
Ca	$1,8 \times 10^{-3}$	—	$2,3 \times 10^{-4}$	H ²	$1,4 \times 10^{-3}$	—	$1,3 \times 10^{-4}$
Mg ³	$1,2 \times 10^{-3}$	—	$1,3 \times 10^{-5}$	Ca	$1,3 \times 10^{-3}$	—	$2,4 \times 10^{-4}$
				N ⁴	10^{-3}	—	$1,0 \times 10^{-3}$
				Mg	$1,3 \times 10^{-3}$	—	$2,0 \times 10^{-5}$
Al	$3,2 \times 10^{-4}$	—	$6,4 \times 10^{-5}$	B ⁶	$9,6 \times 10^{-4}$		
H ⁵	$2,8 \times 10^{-4}$	—	$1,2 \times 10^{-5}$				
				Fe	$3,1 \times 10^{-4}$	—	$7,5 \times 10^{-5}$
				Al	$2,7 \times 10^{-4}$		
				As ⁷	$1,2 \times 10^{-4}$		
N ⁸	$2,2 \times 10^{-5}$	—	$3,3 \times 10^{-6}$				

735. Последнее подцарство — **волосных пресных вод** горных пород и минералов — совершенно не изучено.

Можно думать, что оно будет наблюдаться в пределах биосферы и стратисферы и едва ли идет глубоко в эту последнюю.

Есть два разных семейства этих вод — волосные воды, проникающие, как губку, горные породы и минералы, и воды мельчайших (микроскопических) замкнутых включений, изолированных от атмосферы.

О первых мы ничего не знаем.

Для вторых есть некоторые разрозненные указания.

Для включений в горном хрустале еще Г. Дэви (1822) нашел почти чистую воду и указал, что связанный с ней газ есть вероятно азот. Пресный характер воды в некоторых горных хрусталях был подтвержден Г. Сорби (1858). Вода может содержать K, Na, Cl, свободную HCl, SO₄^{''}.

Совершенно другой тип воды представляют поры, заключающие жидкую уголекислоту и одновременно воду — они встречаются в кварцах, топазах и т. п. Райт (1882) нашел в кварце из пегматитов гнейса в Коннектикуте (Branchville) приблизительно (по объему):

H ₂ O	69,02%
CO ₂	30,48%
N ₂	0,50%

Отсюда, учитывая, что объем 30,48 жидкой уголекислоты весит 25,30 г (при 0°), при 69,02 г H₂O — очевидно мы будем иметь при более высокой температуре и меньшем, чем 36 атм., давлении насыщенный CO₂ раствор воды — около 7,10⁻¹% CO₂ по весу. Такие растворы в биосфере неизвестны.

Эти воды настоятельно требуют химического изучения.



¹ Из CO₃['] и HCO₃^{''}. Растворенная CO₂ не принята во внимание,

² Из ионов HCO₃['] (до 5,3 × 10⁻³%), из ионов H, связанных с SO₄^{''} (до 1,4 × 10⁻³%), из NH₄⁺ (до 2,2 × 10⁻⁴%).

³ Повидимому, больше в озерах, меньше в текущих водах.

⁴ Количество связанного азота 1,8 × 10⁻⁴ до 8,6 × 10⁻⁶%, но это источники, содержащие растворенный азот — несколько 10⁻³%.

⁵ Из HCO₃['] и NH₄⁺.

⁶ Из B₄O₇ — максимум 3,4 × 10⁻³%.

⁷ Ион AsO₄^{'''} (до 2,3 × 10⁻⁴%).

⁸ Из NH₄⁺.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
VII. Эволюция представлений о химии природных вод в связи с изучением их истории в земной коре	203
VIII. Химический состав минералов группы природной воды	265
1. Состав твердых фаз	265
2. Состав газовых фаз природной воды	270
3. Химический состав жидких фаз природных вод	279
I) Общие замечания	279
II) Класс пресных вод	292

Редактор *Н. Д. Лебединская.*

Техн. редактор *Е. Я. Эрлих.*

Поступило к печати с матриц 28 декабря 1934 г.

Формат бумаги 72 × 110.

Ленгорлит № 8434.

Тираж 2.000.

Заказ № 1696.

Тип. знаков в печ. л. 56.000.

Колич. авторских л. 20.

Колич. бум. л. 6½.

4-я тип. ОНТИ НКТП СССР «Красный Печатник». Ленинград, Международный пр., 75а.

Исправление автора

В. И. Вернадский в книге „История минералов земной коры“, т. II, ч. 1-я, вып. II
Онти-Химтеорет-Ленинград-1935 г.

Стр.	Строка	Напечатано	Надо
201	26 сверху	(§ 420, 495)	(§ 423, 499)
201	11 снизу	Уэри	Урей
202	8 „	(309)	(§ 309)
202	8 „	(317)	(§ 317)
202	6 „	минералов вносить группы	минералов группы
205	4 сверху	которая	которые
205	5 „	заполняет	заполняют
210	6 „	(§ 482)	(§ 483)
210	4 снизу	Cotereau и Du Clos	Cotereau Sieur Du Clos
210	3 „	Wallisnieri	Vallisnieri
212	3 „	(§ 482)	(§ 483)
216	27 „	тысячам	тысячами
217	23 сверху	Wigglesworth	Wigglesworth
218	25 снизу	(§ 710)	(§ 712)
219	12 „	ими охвачены	ими слабо охвачены
220	15 сверху	(§ 406)	(§ 409)
221	3 „	до	больше
221	17 „	в тысячу	больше тысячи
225	24 снизу	(§ 615)	(§ 615 сл.)
226	15 сверху	(1896)	(1896) (§ 476)
226	5 снизу	резко	разно
230	21 „	(§ 463)	(§ 464)
234	23 снизу	Узилио	Д. Узилио
236	26 „	629),	630),
238	24 сверху	(§ 483)	(§ 484)
240	11 „	(§ 643)	(§ 439)
241	8 снизу	(§ 464)	(§ 467 А)
242	18 снизу	столь резко	резко
246	12 сверху	эманации	эманаций
247	16 сверху	Рогича	Рогича
247	16 „	(§ 72)	(§ 74)
247	17 снизу	Аскана	Аскана (§ 434)
252	18 „	(§ 577)	(§ 583)
260	2 сверху	(§ 578)	(§ 579)
261	6 сверху	(§ 422)	(§ 423)
266	3 снизу	(§ 582)	(§ 583)
267	16 „	N (газ)	N ₂ газ

Стр.	Строка	Напечатано	Надо
268	25 снизу	O Раств.	O ₂ раств.
268	24 "	N раств.	N ₂ раств.
271	19 "	атмосферу	тропосферу
276	29 "	катионы	анионы
276	28 "	анионы	катионы
278	20 сверху	$9 \times 10^{-1} - 5,8$	$5,8 - 9 \times 10^{-1}$
286	24 "	семейства	семейств
289	25 "	(§ 710 сл.)	(§ 713)
291	14 "	глубинных	подземных
295	17 "	(§ 658)	(§ 659)
300	1 "	природных	наземных
301	23 "	подклассы	классы
307	17 снизу	(§ 606)	(§ 607)
309	27 "	(§ 674)	(§ 675)
311	15 сверху	(§ 611)	(§ 612)
311	22 снизу	(§ 698)	(§ 699)
312	20 "	(1 >	(>
312	18 "	SO ₄	SO ₄ "
314	23 сверху	(§ 674)	(§ 675)
315	19 снизу	(§ 678)	(§ 679)
317	31 "	HCO ₃	HCO ₃ '
317	21 "	SiO ₂	SiO ₂ и ионов SiO ₃
317	13 "	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ · n
319	4 сверху	(§§ 621 сл.)	(§ 622)
320	8 "	(§ 608)	(§ 609)
320	26 "	(§ 672 сл.)	(§ 676)
320	34 "	(§ 684 сл.)	(§ 685)
325	30 "	(§ 629)	(§ 622)
325	22 снизу	(§ 671)	(§ 676 сл.)
326	2 "	(§ 644)	(§ 650)
330	33 "	10 ⁻⁵	10 ⁵
330	18 "	(§ 291)	(§ 630)
335	3 "	считается	учитывается
335	8 "	(§ 645)	(§ 681—A)
346	13 сверху	многовековой	многовековой американской
346	20 снизу	(§ 00)	(§ 659)
349	4 снизу	SO ₄	SO ₄ "
349	2 "	SO ₄	SO ₄ "
350	20 сверху	(§ 808, 912)	(§§ 800, 809, 921)
352	16 снизу	(§ 678)	(§ 679)

Стр.	Строка	Напечатано	Надо
355	18 "	(иногда очень	(иногда связаны очень
355	13 "	подцарств	подцарств для
356	34 "	(919)	(928)
356	16 "	(678)	(630)
356	7 "	(939)	(940)
356	1 "	(592)	(593)
360	14 "	(604)	(606)
360	14 "	(665)	(667)
360	14 "	(699)	(700)
361	7 сверху	сходят	идут
361	22 "	(736)	(883)
362	25 "	(ср. § 662)	(663)
362	1 снизу	(868)	(876)
363	16 "	(706)	(708)
365	16 сверху	(696)	(697)
365	18 "	(590)	(591)
366	14 снизу	(ср. § 710)	(713)
367	32 "	(690)	(691)
368	28 "	(592)	(553)
369	13 "	(560 A)	исключить
370	8 сверху	(§ 561)	исключить
370	15 снизу	(597)	(592)
371	3 сверху	(784)	(784 сл.)
379	3 "	(692)	(693)
382	20 снизу	$\text{CO}_2 <$	$\text{CO}_2 -$
383	16 "	Из $\text{Cl}-\text{CO}_3$	Из углежильных
386	5 "	м-ний	месторождений
390	18 "	Лейтмана	Лейтмейера
393	24 "	акротейды	акротермы
400	11 сверху	(513)	(533)

Опечатки

к книге В. И. Вернадский „История минералов земной коры“, т. II, ч. 1-я, вып. II
ОНТИ-Химтеорет-Ленинград 1935 г.

Стр.	Строка	Напечатано	Надо
210	11 снизу	эмпирически	эмпирически
212	3 "	j	Д.
213	11 "	В,	в
215	29 "	Океанская	Океаническая
242	19 "	В,	В.
246	2 сверху	экспериментально	экспериментального
264	1 снизу	H ₁	H ₂
273	3 "	являетсяокружающий	является окружающий
278	4 сверху	Al	Ag
279	16 снизу	газом.	газом,
279	9 "	а)	1.
302	15 "	культурных	культурных
306	23 сверху	Sa(HO) ₂	Sa(HO) ₂
308	4 "	чрезвычайно	чрезвычайно
324	17 снизу	Na'	Na ²
325	12 сверху	карбонатные воды	карбонатные воды
332	17 снизу	(бескислородному.	(бескислородному).
334	13 "	10 ²⁰ %	10 ⁻²⁰ %
336	15 сверху	Центральной	Центральной обл.
347	24 "	М. ра-	М. Ра-
358	26 снизу	кколлоидальным	к коллоидальным

Всего опечаток 21; из них издательских 7, типографских 14.



