

В. Ф. ДЕРПГОЛЬЦ

ВОДА
ВО ВСЕЛЕННОЙ



H_2O

550.46
Д 36

В. Ф. ДЕРПГОЛЬЦ

ВОДА ВО ВСЕЛЕННОЙ

В КОСМОСЕ, НА МАЛЫХ ТЕЛАХ
СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ, В АТМО-
СФЕРАХ, НА ПОВЕРХНОСТИ
И В НЕДРАХ ПЛАНЕТ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ЛЕНИНГРАД • 1971



В этой книге в доступной форме описан характер распространенности различных соединений водорода и кислорода в космосе и на телах солнечной системы, что в свете успехов в изучении планет весьма актуально. Значительная часть книги посвящена водам нашей планеты — Земли, причем они рассматриваются с различных точек зрения: и как самое необходимое и распространенное вещество, и как вещество, недостаточно изученное и приносящее крупнейшие бедствия.

Автор затрагивает весьма широкий круг вопросов, связанных с природными водами, их физико-химическими свойствами, количественной оценкой, динамикой, энергетикой, происхождением и формированием. Рассматривает различные природные воды в космическом масштабе как единую водную энергетическую систему — «водный мировой калейдоскоп». Дискуссионность некоторых положений придает книге остроту и вызывает читателя на самостоятельные размышления.

Книгу с пользой для себя прочтут и школьники старших классов, и студенты, и все специалисты, занимающиеся естественноисторическими дисциплинами: геологи, планетологи, биологи, географы, астрономы, геогидрологи и т. д., т. е. те, кто связан с природными водами.

Активной помощнице, верному другу
и жене — Елене Николаевне —
посвящает эту скромную книгу
Автор

ПРЕДЛАГАЕМАЯ книга является по существу первой попыткой обобщения современных знаний о воде во Вселенной. Вопрос этот чрезвычайно интересен и важен для понимания многих природных явлений, однако он слишком сложен и многогранен. Поэтому, естественно, в одной книге научно-популярного плана очень трудно даже в самой общей форме охватить все стороны рассматриваемой проблемы, так как проблема эта неисчерпаема, а упрощенный взгляд на природную воду, который укоренился, теперь уже не приемлем.

Чем глубже наука проникает в сущность этого удивительного, полного загадок и неожиданностей вещества, именуемого водой, тем больше возникает нерешенных вопросов и тонкостей, требующих самых совершенных методов исследований. Пожалуй, о воде, как ни о чем другом, будут справедливы слова: «самое простое и загадочное». Ее всеобщность, «всюдность», ее способность проникать во все природные тела и сферы, уживаться и с миром холодного космоса, и с горячими недрами планет, таких как наша Земля, а также удивительная общительность и миротворность воды, с одной стороны, и ее буйство и грозная воинственность — с другой, ста-

вят ее в разряд особых явлений, обладающих как огромной созидающей, так и разрушающей силой и требующих к себе внимания не одной, а большого количества наук. Можно смело сказать, что вода является объектом исследования почти всех естественных наук.

Сколько бы ни было сделано открытий и неожиданных находок в области исследования воды, сегодня перевернуты еще только первые страницы увлекательного жизнеописания этой чудесницы. Сейчас, как никогда ранее, все шире открываются двери в мир познания воды, и это обусловлено, во-первых, успехами освоения космоса, которыми славен наш век; во-вторых, начавшимся проникновением в недра нашей планеты с помощью сверхглубокого бурения. Это последнее в недалеком будущем позволит раскрыть тайны воды и ее существования в условиях сверхвысоких температур, давлений в еще не исследованных геохимических средах.

То, что автор настоящей книги поставил своей задачей обобщить все имеющиеся современные данные о воде и ввести читателя в мир ее загадок и тайн, следует всячески приветствовать. Причем осуществил он это весьма удачно и со знанием дела.

Прежде чем подойти к описанию воды во Вселенной, автор справедливо ставит вопросы: что такое природная вода, что такое Вселенная, каковы способы познания небесных тел и т. д. Затем он начинает увлекательное путешествие в те миры, которые сделала своим обиталищем вода или в которых можно подозревать ее присутствие в тех или иных формах и видах. Конечно, здесь много предположительного, однако имеется уже немало косвенных научных данных.

Большая часть книги посвящена водам Земли. В главе, любовно названной автором «Наш дом — «голубая» планета Земля», рассмотрено много вопросов, позволяющих читателю узнать, как образовалась вода, сколько ее на Земле, каковы ее взаимоотношения с недрами планеты, какие богатства таит она в своем минеральном составе, как созидает и разрушает.

Достоинством книги является то, что автор ее собрал воедино огромное количество сведений из различных областей знания, касающихся как Земли, так и других планет и Вселенной в целом, показал взаимосвязь и взаимообусловленность всех явлений природы, единство природных вод, неизмеримо огромную роль воды во всех природных явлениях и процессах и осветил много общих вопросов.

Книга, может быть, не лишена некоторых спорных положений и дискуссионных моментов, что вполне естественно, так как современный уровень наших знаний о воде еще недостаточно высок, а факты, на которых базируются многие положения наук о воде во Вселенной, как указывалось выше, относятся чаще всего к разряду не прямых, а косвенных и вряд ли скоро смогут приобрести характер совершенно достоверных. Поэтому трактовка различных вопросов может быть сделана разными авторами неоднозначно. Книга ленинградского ученого, геолога и планетолога В. Ф. Дершгольца, представляющая несомненный интерес для широкого круга читателей, не является простой компиляцией данных о воде во Вселенной, многие положения, концепции и гипотезы разработаны автором, в ней приведен ряд интересных наблюденных им фактов. В книге помещена новая схема гипотетической модели подзаемной гидросферы, автором выдвинуто новое планетарное понятие о гидрохлоросфере, приведены ее вертикальная гидрохимическая зональность, новая генетическая классификация природных вод, новый подсчет количества подземных вод с их делением по ряду признаков, новые балансовые уравнения трех стоков, новый подсчет количества хлора в наружных геосферах Земли и целый ряд других оригинальных взглядов автора, которому за свою долгую жизнь пришлось проводить крупные исследовательские работы по подземным водам в очень многих районах как европейской, так и азиатской части СССР.

Хотя автор, подчеркивая условность многих высказываемых в книге положений, и отмечает, что книга «только скользнула по поверхности темы «Вода во Вселенной», надо сказать, что он сделал очень важное дело, начав большой разговор о воде, который давно заслуживает того, чтобы в него включились исследователи самых различных отраслей науки и практики и общими усилиями раскрыли тайны и богатства этой удивительной труженицы мироздания — воды, обратив их на пользу всего человечества.

Доктор геол.-минер. наук *В. А. Кротова*

ОТ АВТОРА

Вода представляет собою классический пример застоя и косности, которые ярко выступают и становятся очевидными всякому, кто глубже вникает в вопрос о природе воды.

Э. Фридман, 1935

ТЕМА предлагаемой книги в настоящее время настолько актуальна, затрагиваемыми в ней вопросами занимается такое большое количество ученых из многих стран, что буквально не проходит недели, чтобы радио и журналы не приносили каких-либо новинок, которые подчас в корне изменяют наши давно устоявшиеся представления, казавшиеся нам незыблемыми.

Примеров можно привести очень много. Так, со времени Скиапарелли в течение 76 лет все были твердо убеждены, что планета Меркурий всегда обращена к Солнцу только одной стороной. Но вот в 1965 г. американские радиоастрономы Петтенгилл и Дайс устанавливают, что период осевого вращения Меркурия не 88 земных суток, а всего 58 и что солнечному облучению, таким образом, подвергается и считавшаяся вечно ночной сторона планеты, что, естественно, создает совершенно новые представления о гидрологических (гермесогидрологических) условиях в атмосфере и на поверхности Меркурия.

Полагали, что при замерзании живых клеток и расширении при этом содержащейся в них воды ткани организма разрываются. Однако опытами нашего ученого Л. Лозина-Лозинского, французского

исследователя П. Беккереля и других установлено, что не только одноклеточные, но и относительно высокоразвитые организмы, как коловратки (класс червей), а также некоторые насекомые и кустарники, находившиеся сравнительно долгое время при температуре около -272° С или близкой к этой по значению, оживали неповрежденными.

С древних времен и до наших дней наукой не было выдвинуто почти ни одного положения, которое впоследствии не было бы опровергнуто или настолько видоизменено, что в новом освещении первоначальное утверждение иногда трудно узнать. Это справедливо не только в отношении дисциплин, которые слабо пользуются математическим аппаратом, но и таких, как физика, химия, астрономия, которые принято считать относительно точными, хотя французский геохимик проф. А. Бернар утверждает, что точных наук не существует и что любой научный факт — только аппроксимация, т. е. приближение.

Физики в начале нашего столетия были убеждены, что единственно незыблемый для того времени факт, в чем нет никаких оснований сомневаться, — это наличие мирового эфира, все же остальное покоится на шатких основаниях. Теперь, благодаря А. Эйнштейну, мы «знаем», что никакого мирового эфира не существует. Однако едва ли найдется в настоящее время человек, который поклянется, что это отрицание никогда не сменится утверждением, пусть даже в измененном варианте. Такое предположение не чистая фантазия автора. Крупнейший английский физик-теоретик Поль Дирак уже предложил ввести в картину Вселенной обновленное понятие «мирового эфира». Как сказал остроумнейший человек нашего века — английский драматург и юморист Дж. Бернارد Шоу: «Наука всегда оказывается неправа. Она никогда не решает вопроса, не поставив при этом десяток новых».

Данную книгу и надо рассматривать как некое приближение к истинному. Перед автором была поставлена задача сделать книгу возможно более понятной неспециалисту, почти совершенно избежать математических формул и представить ее возможно более живой и увлекательной, не опускаясь при этом до вульгаризации и упрощенчества.

Насколько это удалось, будет видно из отзывов читателей, которые автор убедительно просит присылать по адресу: 193171, Ленинград, С-171, Фарфоровская, 12,

Ленинградское отделение издательства «Недра», — и за которые он заранее благодарит.

Все рисунки со звездочкой у номера заимствованы из французской монографии «Планеты и их спутники» («Planets et satellites». Pierre Guérin, Larousse, Paris, 1969).

Автор считает своим приятным долгом выразить глубокую благодарность внимательному редактору этой книги, неоднократно прочитавшему ее перед сдачей в печать, доктору геолого-минералогических наук Валентине Артемьевне Кротовой. Рукопись была просмотрена проф. Н. А. Козыревым и почетным президентом Международной ассоциации планетологов Г. Н. Каттерфельдом, а астрономическая часть отредактирована доктором физико-математических наук Д. О. Мохначом, которым за ряд сделанных замечаний автор выражает свою признательность.

ВВЕДЕНИЕ

При образовании отдельных существующих в настоящее время частей Вселенной, и в особенности нашей Земли, возгорелись жаркие войны между веществами — война за существование и преобладание, и тут вода, по крайней мере на Земле, бесспорно, вышла победительницей.

Ф. Ауэрбах

ПОПРОБУЙТЕ задать возможно большему числу лиц вопрос: «Что такое вода и чем она удивительна?», и вы увидите, что ответы будут весьма трафаретны и малоудовлетворительны. Одни скажут, что на пустые вопросы и отвечать нечего, вода всем и так хорошо известна. Другие ответят, что вода — самая обыкновенная жидкость с химической формулой H_2O и едва ли заслуживает внимания. Третьи пожмут плечами и заметят, что воды кругом сколько угодно и ничего удивительного в ней нет. Вода — вода и есть, она даже стала в быту синонимом пустоты, вздорности: «говорит, как воду льет» или «в вашем отчете много воды». И если вы скажете этим людям, что вода является самым распространенным, но одновременно и чрезвычайно удивительным, необыкновенным и далеко еще не разгаданным веществом, то они, вероятно, вам не поверят.

Значение воды становится для человека понятным тогда, когда он ее лишается. Без пищи человек может существовать 40 дней, а без воды он умирает на восьмые сутки. При потере живым организмом 10% воды наступает самоотравление, а при потере 21% — смерть. Без воздуха жизнь возможна.

Есть многие бактерии, не требующие для своего существования кислорода воздуха. Это так называемые анаэробы. А вот без воды пока не известна никакая жизнь.

Мы с вами, уважаемый читатель, на 70% состоим из воды. Мы даже дышим водой, так как в воздухе всегда содержится невидимый глазу водяной пар. Его отсутствие в воздухе затруднит существование человека: потери воды телом будут слишком велики, а возмещение — затруднительно. Полная сухость воздуха вызывает серьезные заболевания.

Вероятно, трудно поверить, что нет такого природного тела на Земле, будь то металл или минерал, растение или животное, газ, жидкость или твердое тело, которое не содержало бы воды, и притом при любой температуре. Водой проникнуто все — она «всюдна». Огненная магма, изливающаяся из жерл вулканов, и та содержит воду, и притом не в малом количестве — до 12%, а иногда и более.

Американские физик Дей и химик Девис назвали воду «зеркалом науки». Их интересная книга так и называется «Вода — зеркало науки» (издана в сокращенном переводе Гидрометеоиздатом в 1964 г.). Поддерживая их сравнение и продолжая его, можно с неменьшим основанием утверждать, что отношение к воде — зеркало ученого-естествоиспытателя. Чем серьезнее, вдумчивее относится такой ученый к воде, чем большее значение он придает ей в своей дисциплине, тем выше как ученый стоит он сам в ряду своих коллег.

«Самое удивительное и самое лучшее — это вода», — писал немецкий профессор Ф. Ауэрбах. «Жизнь — одушевленная вода», — говорил выдающийся немецкий физиолог и зоолог профессор Э. Дюбуа-Раймон. В построенных человеком космогониях воде всегда уделялось первое место. Главная роль и первостепеннейшее значение природной воды нашло свое отражение в форме глубочайших обобщений еще трех древнейших из известных нам культур: месопотамской, египетской и индийской.

За 5 тыс. лет до н. э. в космогонии Междуречья воде во Вселенной отводилось основное место. Так было и в космогонии Египта (4 тыс. лет до н. э.) и в космогонии Индии (3 тыс. лет до н. э.). В VI в. до н. э. один из первых греческих философов — Фалес Милетский — считал воду первоисточником всего сущего.

В наш век крупнейший ученый-мыслитель, основоположник целого ряда новых научных дисциплин, минералог

и геохимик академик В. И. Вернадский писал: «Вода стоит особняком в истории нашей планеты. Нет природного тела, которое могло бы сравниться с ней по влиянию на ход основных самых грандиозных геологических процессов. Нет земного вещества, минерала, горной породы, живого тела, которое ее бы не заключало. Все земное вещество ... ею проникнуто и охвачено».

Прежде чем говорить о воде во Вселенной, надо, по возможности, ясно представить то, о чем мы собираемся говорить, т. е. дать определение — что такое вода и что такое Вселенная.

1. ЧТО ТАКОЕ ПРИРОДНАЯ ВОДА?

Среди всех веществ, изучаемых физиками и физико-химиками, вода во многих отношениях является самым трудным.

В. В. Шудейкин, 1968



ОПРОС прост, но дать на него простой ответ очень трудно, да пожалуй, и невозможно. Английский физик Генри Кавендиш обнаружил, что водород Н и кислород О образуют воду.

В 1785 г. французскими химиками Лавуазье и Мёнье было установлено, что вода состоит из двух весовых частей водорода и шестнадцати весовых частей кислорода.

Однако не думайте, что это представление, выражающееся химической формулой H_2O , строго говоря, верно. Атомы водорода и кислорода, из которых состоит природная вода, или, точнее, окись водорода, могут иметь различный атомный вес и значительно отличаться друг от друга по своим физическим и химическим свойствам, хотя и занимают в периодической системе элементов одно и то же место.

Это так называемые **и з о т о п ы**. Известны пять различных водородов с атомными весами 1, 2, 3, 4, 5 и три различных кислорода с атомными весами 16, 17 и 18. В природном кислороде на 3150 атомов изотопа O^{16} приходится 5 атомов изотопа кислорода O^{18} и 1 атом изотопа кислорода O^{17} . В природном

газообразном водороде на 5,5 тыс. атомов легкого водорода H^1 (протий) приходится 1 атом H^2 (дейтерия). Что касается H^3 (трития), а также H^4 и H^5 , то их в природной воде на Земле ничтожно мало, но участие их в космических процессах при низких температурах в межпланетном пространстве, в телах комет и т. п. весьма вероятно.

Ядра атомов изотопов содержат одинаковое число протонов, но разное число нейтронов. Атомные веса изотопов различны.

Вокруг ядра атома * водорода вращается один-единственный электрон, поэтому атомный номер водорода равен единице. Этот электрон вращается по круговым орбитам, в совокупности образующим сферу. Орбит множество, и в зависимости от нахождения электрона на той или иной круговой орбите у атома водорода может существовать множество энергетических состояний электрона, т. е. он может быть в спокойном или более или менее возбужденном состояниях.

У атома кислорода 8 электронов (атомный номер 8), 6 из которых движутся по наружным орбитам, представляющим форму восьмерки или гантели, и 2 по внутренней круговой орбите. В соответствии с количеством электронов в ядре атома кислорода 8 протонов, таким образом, сам атом в целом нейтрален.

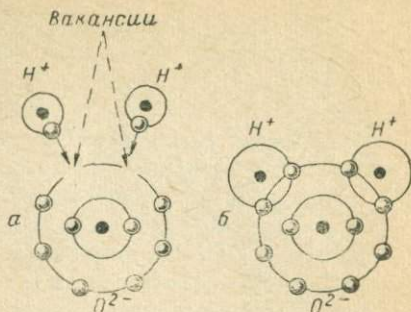
Наиболее устойчивой наружной орбитой атома является состоящая из 8 электронов, а у кислорода их 6, т. е. до 8 не хватает 2 электронов. В то же время водород, как и кислород, существует в молекулах, содержащих 2 атома (H_2), связанных между собой двумя электронами, которые легко замещают вакансию двух электронов наружной орбиты атома кислорода, образуя в совокупности молекулу воды, с полной устойчивой восьмизлектронной наружной орбитой (рис. 1).

Можно привести много различных схем образования молекулы воды, основанных на представлениях различных физиков. Не следует смущаться разнообразием этих схем. По существу в них нет никаких противоречий и принципиальных различий. Ведь в действительности ни строения атомов, ни строения молекулы никто не видел, поэтому гипотетические схемы строятся лишь на основе кос-

* Следует иметь в виду, что все попытки современной физики наглядно представить модель атома являются лишь гипотетическими, так как движение электронов в атоме весьма сложно и классические представления, описывающие это движение, совершенно недостаточны.

Рис. 1. Схема процесса образования из одного атома кислорода и двух атомов водорода (а) молекулы воды (б).

Электронное «облако» молекулы состоит из 8 электронов на наружной и 2 на внутренней орбитах.



венных наблюдаемых приборами признаков, позволяющих предположить как поведение, так и свойства атомов и молекул.

Размеры атомов различных элементов колеблются примерно от 0,6 до 2,6 Å*, а величины длины световой волны — в несколько тысяч раз больше: $(4,5 \div 7,7) \cdot 10^{-5}$ см. К тому же и атомы, и молекулы не имеют четких границ, чем и объясняется существующий разноразмерный вычисленных радиусов.

При нормальных условиях следовало бы ожидать, что связи атома кислорода с обоими водородными атомами в молекуле H_2O образуют у центрального атома кислорода очень тупой угол, близкий к 180° . Однако совершенно неожиданно этот угол равен не 180° , а всего лишь $104^\circ 31'$. Вследствие этого внутримолекулярные силы компенсируются не полностью и их избыток проявляется в ней молекулы. На рис. 2 показаны основные размеры молекулы воды.

В молекуле воды положительные и отрицательные заряды распределены неравномерно, асимметрично. Такое расположение зарядов создает полярность молекулы. Хотя мы и говорили, что молекула воды нейтральна, но в силу своей полярности она ориентируется в пространстве с учетом тяготения своего отрицательно заряженного полюса к положительному заряду и положительно заряженного полюса к отрицательному заряду.

Внутри молекулы воды это разделение зарядов по сравнению с разделением зарядов у других веществ очень велико. Физики это явление называют дипольным моментом. Эти свойства молекул воды (называемые также

* Å — ангстрем — единица длины, равная одной стомиллионной доле сантиметра. Названа по имени шведского физика Ангстрема.

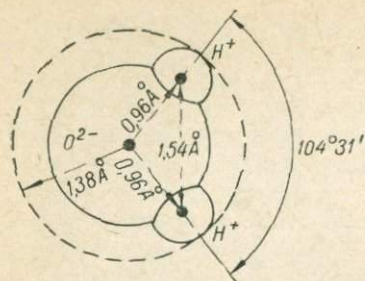


Рис. 2. Молекула воды и ее размеры.

Диаметр молекулы 2,76 Å; расстояние между центрами атомов водорода и кислорода 0,96 Å; угол между центрами трех атомов 104° 31'.

диэлектрической проницаемостью, которая у H_2O очень велика) имеют очень большое значение, например в процессах растворения различных веществ*.

Способность воды растворять твердые тела определяется ее диэлектрической проницаемостью ϵ , которая у воды при 0°C равна 87,7; при 50°C — 69,9; при 100°C — 55,7. При комнатной температуре диэлектрическая проницаемость равна 80. Это значит, что два противоположных электрических заряда взаимно притягиваются в воде, с силой, равной $1/80$ силы их взаимодействия в воздухе. Таким образом, отделение ионов от кристалла какой-либо соли в воде в 80 раз легче, чем в воздухе.

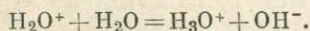
Но вода состоит не только из одних молекул. Дело в том, что молекула воды может диссоциировать (расщепляться) на заряженный положительно ион водорода H^+ и на заряженный отрицательно гидроксильный ион OH^- . В обычных условиях чистая вода диссоциирована очень слабо: только одна молекула из 10 млн. молекул воды распадается на ион водорода и ион гидроксила. Однако с повышением температуры и изменением других условий диссоциация может быть значительно большей. Хотя вода в целом в химическом отношении инертна, наличие ионов H^+ и OH^- делает ее чрезвычайно активной.

В воде могут находиться и отрицательно заряженные ионы кислорода (O^-). Более того, в природе могут встречаться и другие соединения водорода с кислородом. К таким соединениям в первую очередь принадлежит широко распространенный отрицательно заряженный гидрооксо-

* У некоторых молекул дипольный момент может иногда отсутствовать, например у некоторых неполярных молекул H_2 или Cl_2 . Молекулы могут быть малополярны, например HCl ($\text{H}^{+0,17}\text{Cl}^{-0,17}$), и сильно полярны, например NaCl ($\text{Na}^{+0,8}\text{Cl}^{-0,8}$). Цифры выражают единицы заряда электрона. В предельных случаях полярности связь называется ионной.

ний H_3O^+ . Он встречается в растворах галита (NaCl) при высоких температурах и давлениях. Гидрооксоний находится в узлах решетки льда (вместе с гидроксильным ионом OH^-) в количестве (при 0°C) $0,27 \cdot 10^{-9}$ частей, а также в связанном состоянии во многих минералах. H_3O^+ и OH^- в глубоких недрах являются переносчиками многих соединений (особенно в процессе гранитизации). К другим соединениям водорода с кислородом относятся перекись водорода (H_2O_2), перигидроксил (HO_2), гидроксил-моногидрат (H_3O_2^-) и т. п. Все они неустойчивы в условиях земной поверхности, однако при некоторых температурах и давлениях могут находиться в природе длительное время, а главное — превращаться в молекулу воды, о чем будет сказано ниже. H_3O_2^- обнаружен в облаках ионосферы на высоте более 100 км над уровнем моря.

Мы отмечали выше, что молекула воды, как правило, нейтральна. Однако при вырывании из нее электрона бета-лучами (быстрыми электронами) может образоваться заряженная «молекула» воды — положительный ион H_2O^+ . При взаимодействии воды с этим ионом возникает радикал OH^- по схеме:



При рекомбинации гидрооксония H_3O^+ с электроном выделяется энергия, равная 196 ккал/моль, достаточная для расщепления H_2O на H и OH . Свободные радикалы играют весьма важную роль в астрофизике и в физике земной атмосферы. На Солнце был обнаружен радикал OH , причем в пятнах в повышенном количестве. Он же обнаружен в звездах и в головной части комет.

Итак, рассматривая воду только как вещество, состоящее из атомов, молекул и ионов водорода и кислорода, и не принимая во внимание все другие элементы периодической системы и их неорганические и органические соединения, которые могут находиться в воде в виде растворов, взвесей, эмульсий и примесей, в газообразном, жидком и твердом состояниях, можно выделить 36 соединений — разновидностей водорода и кислорода, входящих в состав воды. В табл. 1 приведено девять изотопических разновидностей воды.

Как видим, кроме H_2O , других изотопических разновидностей обычно не так уж много, всего около 0,3%. Третий (H^3 , или T) слабо радиоактивен, и его полураспад длится 12,3 года, в таблице он не помещен, так же как



Некоторые изотопические разновидности воды
в сравнении с содержанием отдельных элементов в морской воде

Формулы молекул воды	Содержание, %	Соответствует содержанию в морской воде
H^1O^{16}	99,73	—
H^1O^{18}	0,20	Магния
$H_2^1O^{17}$	0,04	Кальция
$H^1H^2O^{16}$	0,032	Калия
$H^1H^2O^{18}$	0,00006	Азота
$H^1H^2O^{17}$	0,00001	Алюминия
$H_2^2O^{16}$	0,000003	Фосфора
$H_2^2O^{18}$	0,000000009	Ртуты
$H_2^2O^{17}$	0,000000001	Золота

и другие радиоактивные изотопы водорода с атомным весом 4 (H^4) и 5 (H^5) с исключительно коротким периодом полураспада. Например, H^4 всего $\frac{4}{100\ 000\ 000\ 000}$ сек, или $4 \cdot 10^{-11}$ сек.

Помимо указанных выше четырех изотопов водорода имеются еще три радиоактивных изотопа кислорода: O^{14} , O^{15} , O^{16} , но и они в природной воде большого значения иметь не могут, так как их периоды полураспада очень малы и оцениваются десятками секунд. Но это еще далеко не все, если говорить о разновидностях *ч и с т о й* воды.

До сих пор мы рассматривали только атомы, молекулы и ионы водорода и кислорода и их соединения, составляющие то, что мы называем чистой водой. В 1 см^3 жидкой воды при 0°C содержится $3,35 \cdot 10^{22}$ молекул. Как же располагаются эти частицы в воде, об этом речи еще не было.

Оказывается, частицы воды располагаются далеко не произвольно, а образуют во всех трех фазах воды определенную *с т р у к т у р у*, которая изменяется в зависимости от температуры и давления. Мы подошли к наиболее трудной для понимания, загадочной и далеко еще не разрешенной проблеме воды — ее структуре.

Но прежде чем сделать попытку наиболее упрощенным способом осветить эту загадку, нам необходимо обратиться к общей характеристике свойств воды, делающих ее самым удивительным веществом на Земле. И первое, самое поразительное, свойство воды заключается в том, что

она принадлежит к единственному веществу на нашей планете, которое в обычных условиях температуры и давления может находиться в трех фазах, или в трех агрегатных состояниях: в твердом (лед), жидком и газообразном (невидимый глазу пар).

Как хорошо известно еще из курса физики средней школы, вода принята за образец меры — эталон для всех других веществ. Казалось бы, за эталон для физических констант следовало бы выбрать такое вещество, которое ведет себя самым нормальным, обычным образом. А получилось как раз наоборот. Вода — самое аномальное вещество в природе. Прежде всего, вода обладает исключительно высокой теплоемкостью по сравнению с другими жидкими и твердыми телами. Если теплоемкость воды принята за единицу, то, например, для спирта и глицерина она составит только 0,3; для песка и каменной соли — 0,2; для ртути и платины — 0,03; для дерева (дуб, ель, сосна) — 0,6; для железа — 0,1 и т. д.

Таким образом, вода в озере при одинаковой температуре воздуха и одинаковом получаемом ею солнечном тепле нагреется в 5 раз меньше, чем сухая песчаная почва вокруг озера, но во столько же раз вода будет больше сохранять полученное тепло, чем почва.

Другая аномалия воды — это необычайно высокие скрытая теплота испарения и скрытая теплота плавления, т. е. то количество тепла, которое необходимо, чтобы превратить жидкость в пар и лед в жидкость (иными словами, количество поглощаемой или высвобождаемой теплоты). Например, чтобы превратить 1 г льда в жидкость, необходимо затратить около 80 кал, в то время как само вещество лед—вода ни на долю градуса не повысит свою температуру. Как известно, температура тающего льда неизменно одинакова и равна 0°C . В то же время вода тающего льда из окружающей среды должна поглощать относительно громадное количество тепла (80 кал/г).

Такой же скачок мы наблюдаем при переходе воды в пар. Без повышения температуры кипящей воды, которая неизменно (при давлении 1 атм) будет равна 100°C , сама вода должна поглотить из окружающей среды почти в 7 раз больше тепла, чем при таянии льда, а именно: 539 кал.

Разумеется, если пар превращается в воду или вода переходит в лед, то такое же количество тепла в калориях

(539 и 80) должно выделяться из воды и согревать среду, окружающую воду. У воды эти величины необыкновенно высоки. Например, скрытая теплота испарения у воды почти в 8 раз больше, а скрытая теплота плавления в 27 раз больше, чем у спирта.

Удивительной и совершенно неожиданной аномальной особенностью воды являются ее температуры замерзания и кипения. Если рассмотреть ряд соединений водорода с другими элементами, например с серой, селеном, теллуром, то можно заметить, что существует закономерность между их молекулярными весами и температурами замерзания и кипения: чем выше молекулярные веса, тем выше температурные значения (табл. 2).

Таблица 2

Зависимость температуры замерзания и кипения некоторых соединений водорода от молекулярного веса

Соединения водорода	Молекулярный вес	Температура, °С	
		замерзания	кипения
H ₂ Te (с теллуром)	130	-51	-4
H ₂ Se (с селеном)	81	-64	-42
H ₂ S (с серой)	34	-82	-61
H ₂ O (с кислородом)	18	0!	+100!

Еще более удивительное и не менее неожиданное свойство воды — это изменение ее плотности в зависимости от изменения температуры. Все вещества (кроме висмута) по мере повышения температуры увеличивают свой объем и уменьшают плотность. На интервале от +4° С и выше вода увеличивает свой объем и уменьшает плотность, как и другие вещества, но начиная с +4° С и ниже, вплоть до точки замерзания воды, плотность ее вновь начинает падать, а объем расширяться, и в момент замерзания происходит скачок, объем воды расширяется на $\frac{1}{11}$ от объема жидкой воды.

Исключительное значение такой аномалии всем достаточно понятно. Если бы этой аномалии не было, лед не смог бы плавать, водоемы промерзли бы зимой до дна, что было бы катастрофой для всего живущего в воде. Впрочем, это свойство воды не всегда приятно для человека — замерзание воды в водопроводных трубах приводит к их разрыву.

Существует много других аномалий воды, на которых мы сейчас останавливаться не будем. Например, температурный коэффициент расширения воды на интервале от 0 до 45° С увеличивается с ростом давления, а у других тел обычно наоборот. Аномальны также теплопроводность, зависимость диэлектрической проницаемости от давления, коэффициент самодиффузии и многие другие свойства.

Возникает вопрос, чем же объяснить эти аномалии? Путь к объяснению, возможно, лежит в выявлении особенностей структур, образуемых молекулами воды при различных агрегатных (фазовых) состояниях, связанных с температурами, давлениями и другими условиями, в которых находится вода. К сожалению, единство во взглядах на этот вопрос отсутствует. Большая часть современных исследователей в настоящее время придерживается мнения о двух структурной модели воды, согласно которой вода представляет собой смесь: 1) рыхлой льдоподобной и 2) плотно упакованной структур.

Кристаллы льда относятся к гексагональной сингонии, т. е. они имеют форму шестигранных призм (гексагонов). В структуре льда каждая молекула воды окружена четырьмя ближайшими к ней молекулами, находящимися от нее на одинаковом расстоянии. Таким образом, каждая молекула воды обладает координационным числом.

Молекулы воды располагаются так, что они соприкасаются разноименными полюсами (заряженными положительно и отрицательно). В структуре льда типа тридимита расстояние между молекулами 4,5 Å, а в структуре типа кварца — 4,2 Å. В первом случае это вода талого льда с температурой около 0° С. Во втором случае более плотная упаковка молекул воды предполагается при температуре около +4° С.

Таинственное расширение воды примерно на 10% при замерзании объясняется быстрой сменой плотно упакованной структуры на ажурную, рыхлую. В структуре льда из-за низкого координационного числа много пустот, которые даже больше самих молекул воды. Каждая пустота ограничена 6-ю молекулами воды, и в то же время вокруг каждой молекулы воды в структуре льда имеется 6 центров пустот.

При температуре около +4° С эти пустоты заполняются «свободными» молекулами воды и плотность ее становится

максимальной. При дальнейшем повышении температуры вновь постепенно возникает все более и более рыхло-ажурная структура. В результате возрастающего теплового движения молекул (с повышением температуры) структура льда постепенно «размывается», происходит ослабление водородных связей и «размывание» структуры типа тридимита усиливается, плотность воды уменьшается, а объем ее увеличивается.

Необходимо еще раз подчеркнуть, что внутреннее строение жидкостей вообще, а воды в особенности, значительно сложнее, чем у твердых тел и газов. Природа воды чрезвычайно сложна и пока еще далеко не разгадана. Крупный исследователь структуры воды профессор О. Я. Самойлов поясняет процесс внезапного увеличения объема, занимаемого водой в момент замерзания, или уменьшения объема при оттаивании льда двумя грубыми примерами-аналогиями, разумеется, чрезвычайно упрощенно схематизированными.

Представим себе ящик, в который сложены шары с плотнейшей упаковкой. При встряхивании ящика произойдет разупорядочение, объем, занимаемый шарами, увеличится и образуются пустоты.

Обратный процесс иллюстрируется следующим примером. Пусть на каждом шаре будут сделаны углубления и соответствующие им на других шарах выступы так, чтобы каждый шар был окружен только 4-мя шарами и выступы не входили бы в углубления. При встряхивании и вхождении выступов в углубления произойдет резкое и мгновенное уменьшение объема, занимаемого всеми шарами. Это пример перехода льда в воду с температурой около $+4^{\circ}\text{C}$.

В 1962 г. в Костроме доцентом Н. Н. Федякиным была открыта новая разновидность химически чистой воды (помимо ее изотопических разностей). Это так называемая аномальная («модифицированная») вода, образующаяся из обычной в кварцевых капиллярах или на кварцевых пластинках. В капиллярах появляются самостоятельные дочерние столбики новой аномальной воды высокой вязкости, с уменьшенным давлением паров, с вязкостью и коэффициентом теплового расширения, в несколько раз большими, и с плотностью, на 40% большей, чем у обычной воды.

Пока аномальную воду можно получить из обыкновенной воды при конденсации паров только на кварце. Чистая аномальная вода представляет собой аморфно-

стекловидную некристаллизующуюся массу с консистенцией вазелина. В СССР она получена пока одновременно в долях миллиграмма, исследование ее ведется под руководством члена-корр. АН СССР Б. В. Дерягина.

Эта модифицированная вода имеет высокую устойчивость и вне капилляров ведет себя так же, как и в них. Она не замерзает, оставаясь жидкой даже при -50°C . При давлениях в 60 тыс. атм и температуре в 1000°C она не появлялась.

Новый вид воды не смешивается с обычной, а образует с ней эмульсию. Модифицированная вода не кристаллизуется, она, подобно стеклу, представляет собой аморфную массу. Загадка ее происхождения пока не раскрыта, и ученые во всем мире ведут усиленные исследования. Во всяком случае, объяснить происхождение аномальной воды структурными особенностями нельзя. За рубежом ее назвали «сверхводой».

В последнее время Ф. А. Летниковым и Т. В. Кащевой была открыта у воды «память», или, если хотите, «закалка». Бралась очень тщательно очищенная перегонками вода и подвергалась нагреванию до 200, 300, 400 и 500°C при давлении 1, 88, 390 и 800 атм. Температура и давление изменяют свойства воды, это было известно давно. Но вот что удивительно — некоторые новые свойства сохраняются у воды и после снятия высоких температур и давлений. Например, у воды в 4 раза повышалась способность к растворению некоторых солей.

Уже давно замечено изменение ряда свойств воды при воздействии на нее магнитного поля. Чем сильнее последнее, тем большие изменения происходят с водой. Так, при изменениях напряженности достаточно сильного магнитного поля концентрация водородных ионов (H^+) увеличивается в два раза, а поверхностное натяжение воды — в три раза.

Магнитное поле влияет также на скорость и характер кристаллизации солей, находящихся в воде в растворенном состоянии. Магнитная обработка воды приводит к уменьшению накипи в котлах, понижает смачиваемость водой поверхностей твердых тел, изменяет температуру кипения, степень вязкости, повышает скорости сгущения суспензий, фильтрации, затвердевания цемента, изменяет магнитную восприимчивость. Магнитное поле существенно меняет в концентрированных растворах теплоту гидратации (до 5%), что очень важно для глубинных рассолов.

Однако магнитное поле не оказывает влияния на чистую воду, т. е. воду, в растворе которой отсутствуют электролиты. При омагничивании воды происходит изменение ориентации ядерного спина * в молекуле H_2O .

Магнитная вода, как и свежетакая, также обладает «памятью». Ее новые свойства имеют «полураспад» примерно в течение суток. Талой воде, как это установлено многочисленными наблюдениями, присуща повышенная биологическая активность, которая сохраняется некоторое время после таяния. По данным казанских биоников, новые свойства как магнитной, так и талой воды объясняются изменениями, присходящими с ядрами водорода. О влиянии этой воды на жизнь будет сказано ниже (см. стр. 178).

В настоящее время во многих странах организовано промышленное изготовление омагниченной воды в больших количествах. В СССР ее получают на установках «Мелекесс».

Точкой перехода жидкой фазы воды в твердую при давлении в 1 атм является температура $0^\circ C$. С повышением давления точка перехода воды в лед понижается: при 600 атм до $-5^\circ C$, при 2200 атм до $-22^\circ C$. Но затем вода начинает вести себя совершенно удивительно: при 3530 атм она переходит в лед только при $-17^\circ C$, при 6380 атм — при $+0,16^\circ C$, а при 20 670 атм лед имеет температуру $+76^\circ C$ — горячий лед, который мог бы дать ожог.

Немецкий ученый Г. Тамман и американский П. В. Бриджмен выявили шесть разновидностей льда:

I — обычный лед, существующий при давлении до 2200 атм, при дальнейшем увеличении давления переходит в II;

II — лед с уменьшением объема на 18%, тонет в воде, очень неустойчив и легко переходит в III;

III — также тяжелее воды и может непосредственно быть получен из льда I;

IV — легче воды, существует при небольших давлениях и температуре немного ниже $0^\circ C$, неустойчив и легко переходит в лед I;

V — может существовать при давлениях от 3600 до 6300 атм, он плотнее льда III, при повышении давления с треском мгновенно превращается в лед VI;

VI — плотнее льда V, при давлении около 21 000 атм имеет температуру $+76^\circ C$; может быть получен непосредственно из воды при температуре $+60^\circ C$ и давлении 16 500 атм.

* Ядерный спин — момент количества движения атомного ядра. Со спином частицы тесно связан магнитный момент, ему пропорциональный.

Приведенные выше давления могут существовать в геосферах до глубины 80 км. По мнению В. И. Вернадского, разности горячего льда существуют в литосфере в области физически связанных вод. Так, например, прочно связанная вода имеет плотность твердого тела (и это при обычном давлении) 2 г/см^3 . Такая вода замерзает лишь при -78°С .

Поведение воды в природе в различных условиях давления, температуры, электромагнитных полей, а особенно разностей электрических потенциалов и многого другого, загадочно, тем более что природная вода — не химически чистое вещество, она содержит в растворе многие вещества (по существу все элементы периодической системы), и притом в различных концентрациях. Эта загадочность особенно велика для больших глубин литосферы Земли, где имеют место высокие давления и температуры. Но даже если взять «чистую» воду и посмотреть, как меняются ее некоторые свойства при относительно высоких давлениях и температурах, то, например, для плотности получим такие значения, г/см^3 : при 100°С и 100 атм , а также при 1000°С и $10\,000 \text{ атм}$ она будет одинакова и близка к 1; при 1000°С и 100 атм — 0,017; при 800°С и 2500 атм 0,5; при 770°С и $13\,000 \text{ атм}$ — 1,7, а электропроводность такой воды равна электропроводности пятинормальной соляной кислоты. Для рассолов, которые господствуют в глубинах литосферы, все эти значения изменятся.

В 1969 г. в астрофизическом центре при университете в Толедо (штата Огайо, США) американские ученые А. Делсемм и А. Венджер открыли новую сверхплотную модификацию льда при температуре -173°С и давлении около $0,007 \text{ мм рт. ст.}$ Этот лед имел плотность $2,32 \text{ г/см}^3$, т. е. был близок по плотности к некоторым разновидностям гнейса ($2,4 \text{ г/см}^3$); он аморфен (не имеет кристаллического строения) и играет большую роль в физике планет и комет.

Свойства воды меняются также под воздействием электрического поля разной частоты. При этом интенсивность света в воде ослабевает, это связано с поглощением его лучей. Далее, примерно на 15% изменяется скорость испарения воды.

Вообще в последнее время все большее число исследователей на основании полевых и лабораторных наблюдений приходит к выводу о значительной роли разности естественных электрических потенциалов для физических

и химических особенностей природных вод. Даже в приповерхностных зонах литосферы со сравнительно слабыми электрическими потенциалами разность потенциалов вызывает как движение самой воды, так и растворенных в ней катионов и анионов во взаимно противоположных направлениях. Некоторые ученые наблюдали возникновение электрических потенциалов (и их разностей) на контакте воды и льда, а также на сульфидных месторождениях. На больших глубинах литосферы следует ожидать более значительных разностей потенциалов как между разными породами, так и разными растворами. Американский ученый П. Маркс полагает, что на глубинах около 12 км образуются мощные гальванические батареи при наличии минерализованных растворов, металлов, серы, графита. Разности электрических потенциалов могут быть столь велики, что будут разлагать воду на водород и кислород.

Все, что мы до сих пор говорили о многообразии разновидностей воды, касалось чистой воды, без всяких примесей. Но химически чистой воды нигде в природе нет и быть не может. Даже искусственно дистиллированная вода после многократной перегонки будет содержать растворенные углекислоту, азот, кислород, а также в незначительной части вещества, из которых сделан сосуд, где она находится.

Таким образом, даже искусственно получить почти чистую воду очень затруднительно, хотя подобный опыт более полувека назад был проведен немецким физиком Ф. Кольраушем. Им была получена в совершенно ничтожном объеме и на несколько секунд, за которые удалось определить ее электропроводность, абсолютно чистая вода.

Всякая вода в природе, включая снег, лед и дождь, является раствором различных веществ в форме ионов, нейтральных молекул, мелких и крупных взвесей, живых существ (от бактерий до крупных животных) и продуктов их жизнедеятельности. Если говорить о находящихся в воде веществах, то, например, акад. В. И. Вернадский, рассматривавший воду как минерал, выделил 485 видов минералов группы воды (гидридов), сделав при этом оговорку, что им описана только меньшая часть видов воды и что общее их количество, вероятно, превысит 1500. Разумеется, такая классификация неприемлема для практических целей, и мы упомянули о ней только для иллюстрации многообразия химического со-

става природных вод, рассматривая воду как растворитель и минерал.

Природную воду можно классифицировать по следующим признакам: температуре, химическому составу растворенных компонентов, местонахождению, целевому использованию, происхождению, динамике циркуляции, фазовому состоянию, нахождению в той или иной геосфере и по многим другим свойствам и признакам.

1. В природе встречаются воды в пределах температур от почти абсолютного нуля (т. е. около -273°C) до примерно 2000°C . Даже при обычном давлении вода, оставаясь жидкостью, может переохлаждаться до -70°C и перегреваться, не переходя в пар, до $+120^{\circ}\text{C}$, но только на очень короткий срок.

2. Всякая природная вода является раствором газов и минеральных веществ, а для наружных оболочек Земли (не глубже 3—5 км) и местом обитания живых организмов. Газы и твердые вещества могут быть растворены в воде от ничтожных количеств до возможных пределов растворимости тех или иных веществ. В зависимости от температуры и давления в воде растворяется все, в ней могут содержаться в растворе все элементы периодической системы, встречающиеся в природе, даже металлы и такие очень труднорастворимые соединения кремния, как стекло, кварц и т. п.

3. Все природные воды по химическому составу веществ, находящихся в растворе, удобнее всего (и это сейчас общепринято) делить на три класса по преобладающему в растворе аниону: а) хлоридные (самый распространенный класс), б) гидрокарбонатные и в) сульфатные. Каждый класс в свою очередь делится по преобладающему катиону на четыре группы: натриевые, кальциевые, магниевые и калиевые. Таким образом, мы имеем 12 крупных разновидностей воды.

По преобладающему в растворе газу воды делятся также на азотные, сероводородные, метановые, углекислые, кислородные и другие.

4. Вода может находиться как в свободном, так и в связанном состоянии. Свободные воды могут изливаться и передвигаться под влиянием силы тяжести (гравитации). Они так и называются «гравитационные».

Но вода в форме H_2O или ее изотопических разновидностей, а также и в форме гидроксидов OH , гидрооксония H_3O^+ и других может входить в состав минералов как физически или химически связанная, иногда

в значительных количествах. Так, в физически связанном состоянии вода присутствует в таких минералах, как гидробазальюминит $Al_4 [(OH)_{10}SO_4]_3 \cdot 36H_2O$ — 60 вес. %, мирабилит $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ — 56 вес. %, бура $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ — 47 вес. %; в химически связанном (в виде гидроксила OH) — в гидраргиллите $Al [OH]_3$ — 65 вес. %, в тремолите $Ca_2Mg_5 [Si_4O_{11}]_{12} \cdot [OH]_2$ — 42 вес. %, в турмалине (Na, Ca) $(Mg, Al)_6 \cdot [B_3Al_3Si_6] \times (O, OH)_{30}$ — 31 вес. %.

5. По целевому назначению воды могут быть подразделены на минеральные (лечебные), питьевые, хозяйственно-технические, термальные (для энергетических, лечебных и обогревательных целей).

Все перечисленные воды могут использоваться для добычи минеральных веществ (например, йод-бромные, калийные и т. д.), в качестве путей сообщения (водоемы, водотоки), для получения электроэнергии, для поливов (ирригации), для лечебных (душей, пресных ванн, купания в природных условиях) и многих других целей.

Но воды могут быть и «вредными» — ядовитыми, заливающими подземные выработки, вызывающими лавины, силы, сейши, наводнения.

6. По происхождению различают воды первичные и вторичные. Первые возникают на месте, например, даже при горении свечи ($CH_4 + 2O_2 = 2H_2O + CO_2$), а вторые — в результате круговоротов воды.

7. По динамике циркуляции воды могут быть свободно текучими (например, реки), просачивающимися через породы с большей или меньшей скоростью и т. д. Никакие воды не могут быть в геологическом разрезе времени статичными (мертвыми запасами), неподвижными.

8. По фазовому (агрегатному) состоянию воды делят на твердые (снежинки, мельчайшие парящие в воздухе иглы, лед), жидкие (парящие мельчайшие капельки тумана и облаков, слитные жидкие массы в морях, реках и т. д.) и газообразные (невидимый глазу пар* в воздухе, в подземных газах), проникающие в мельчайшие поры и трещинки твердых тел, и другие фазовые состояния, о которых речь будет впереди.

* При кипении воды вначале выделяются парящие в воздухе мелкие капельки жидкой воды, которые затем превращаются в невидимый глазу пар.

9. По нахождению в геосферах* вода может быть подразделена на наземную атмосферную, так называемая «метеорная» вода, — предмет изучения гидрометеорологии; на поверхностную, являющуюся предметом гидрологии; на подземную, содержащуюся в почвах, в горных породах — предмет гидрогеологии. Все эти воды тесным образом взаимосвязаны, и закономерности, отражающие эти связи, являются предметом геогидрологии — молодой, еще только что возникающей дисциплины.

Кроме того, воды могут быть встречены в космическом пространстве, на малых телах, в нем содержащихся, — предмет космической гидрологии, а также и на планетах как внутренних (типа Земли), так и внешних (типа Юпитера) — предмет соответствующих планетных гидрологий.

«Что такое вода?» — вопрос далеко не простой. Все, что мы кратко рассказали о ней, не является исчерпывающим ответом на этот вопрос, а во многих случаях дать ясный ответ на него пока и совсем нельзя. Например, пока остается открытым вопрос о структуре воды, о причинах многочисленных аномалий воды и, вероятно, еще о многих свойствах и разновидностях воды, о которых мы даже не подозреваем. Напомним слова нашего гениального соотечественника акад. В. И. Вернадского о том, что «надо ждать особый исключительный характер физико-химических свойств воды среди всех других соединений, который отражается и на ее положении в мироздании и на структуре мироздания» и перейдем к попытке ответить на наш второй вопрос — что такое Вселенная?

* Геосферами называются концентрические сферические оболочки, на которые разделяется наша планета: атмосфера, гидросфера, литосфера, биосфера. Последняя захватывает части атмосферы, гидросферы и литосферы. Четких границ между этими оболочками нет — они проникают одна в другую. Десять лет назад автором введено понятие гидрохлоросферы, захватывающей как часть литосферы, так и атмосферы.

II. ЧТО ТАКОЕ ВСЕЛЕННАЯ?

Наша Солнечная система представляет... ничтожную часть целого, и все же мы в геологии... непрерывно, реально сталкиваемся с энергетическим и материальным проявлением Млечного Пути — в форме космического вещества — метеоритов и пыли... и материально-энергетическими, невидимыми глазу... и не ощущаемыми проникающими космическими излучениями.

В. И. Вернадский,
1965



ВСЕЛЕННАЯ — это все то, что существует объективно вне нас. В нашей книге будет рассмотрена главным образом та ее часть, которая входит в состав солнечной системы. Солнце является звездой средних размеров, его диаметр 1,4 млн. км. О его составе и строении мы можем судить по наружным оболочкам его атмосферы, состоящей из трех слоев: внутреннего — фотосферы (мощностью около 300 км); среднего — хромосферы (толщиной 15 000 км) и самого наружного — короны, простирающейся на высоту нескольких радиусов Солнца. Температура наружных оболочек 6000° С.

В атмосфере Солнца обнаружено около 60 химических элементов, преобладает водород, которого в 4—5 раз больше гелия и в 1000 раз больше других химических элементов, затем следуют гелий, кислород, углерод и азот. Кроме того, в атмосфере Солнца присутствуют магний, кремний, железо, натрий, калий, кальций, алюминий и другие.

Внутри Солнце обладает колоссальной температурой — до 20 млн. °С, огромным давлением — около

200 млн. атм, при плотности вещества недр до 100 г/см^3 . Вспомним, что земные горные породы на поверхности нашей планеты обладают средней плотностью около $2,7 \text{ г/см}^3$, а средняя плотность всего земного шара $5,5 \text{ г/см}^3$.

Солнце представляет собой громадный ядерный котел, в котором непрерывно происходит реакция превращения водорода в гелий. Из 4 ядер водорода образуется 1 ядро гелия, при этом высвобождается громадная энергия, идущая на излучение в окружающее пространство. В одну минуту на излучение Солнце теряет около 250 000 000 т своей массы, что в год составляет 130 трлн. т. При таком чудовищном расходе только через 100 млрд. лет Солнце исчерпает свой запас ядерной энергии. * На рис. 7 изображен спектр электромагнитных волн. Солнце излучает почти все волны этой шкалы и, кроме того, потоки частиц — корпускул, среди которых преобладают протоны и электроны. Корпускулярное излучение носит поэтическое название «солнечный ветер», скорость которого несколько сотен километров в секунду.

Корпускулярное излучение Солнца, заполняющее все межпланетное пространство, представляет собой плазменное вещество **. В нем возможны сгустки («облака»), достигающие в диаметре 200—400 км и удаляющиеся от Солнца со скоростью сотен километров в секунду. Наряду со сгустками встречаются «каналы», содержащие корпускул меньше нормы (рис. 3). Кроме того, межпланетное пространство пронизывают космические лучи.

Бесспорно, общая солнечная активность оказывает влияние на поверхность нашей планеты и наша атмосфера не является непреодолимым барьером для этих влияний. Протонно-электронная плазма, выбрасываемая

* Данные акад. В. Н. Кондратьева, 1960 г. Однако, по данным американского ученого В. Гамова, судьба нашего Солнца, а стало быть, и всей системы, иная. Учитывая, что реакция превращения водорода в гелий приводит к накоплению энергии в центральных частях Солнца и что гелий менее прозрачен, чем водород, возникнет дополнительная генерация энергии. Солнце станет излучать в пространство в 100 раз больше энергии, чем в настоящее время. Это приведет к уничтожению всей живой материи на нашей планете. Подобная катастрофа, к счастью, намечается по данной гипотезе лишь через 10 млрд. лет. Исчерпав на ядерные реакции весь свой водород, Солнце, уменьшившись в размере, должно в конце концов превратиться в холодное тело.

** Термин «плазма» предложен американским физиком И. Ленгмюром в 1924 г. и был им заимствован из биологии. На долю плазмы приходится более 90% всего вещества Вселенной, и лишь 0,1% приходится на твердое состояние.

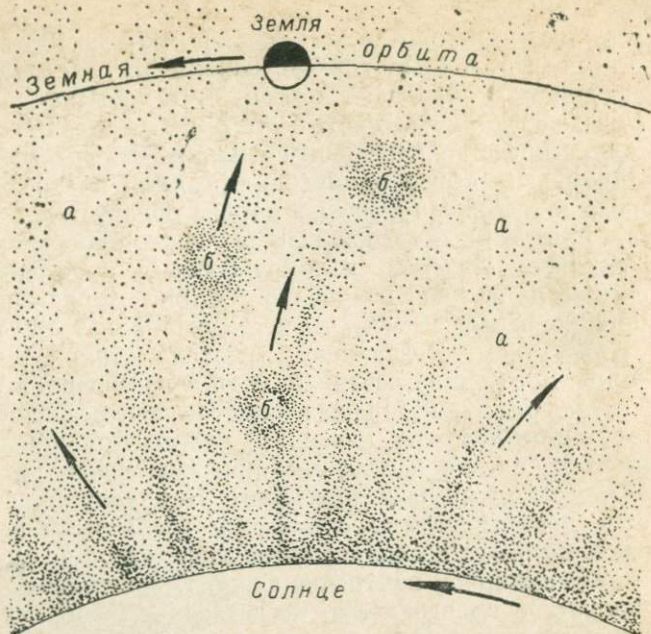


Рис. 3. Схема «солнечного ветра» — корпускулярных плазменных потоков — от Солнца к земной орбите и далее за пределы планетной системы, с кинетической температурой в пределах 5000 — 5 млн. °С.

а — каналы с сильно разреженной плазмой или без нее; б — сгустки плазмы («облака», «рои») диаметром до 200—400 км.

Возле земной орбиты через 1 см^2 проходит от 10 до 100 млн. частиц (протонов) корпускулярного потока. Масштаб не соблюден. Стрелки указывают направление движения Земли вдоль орбиты, направление вращения Солнца и направление движения плазмы.

с поверхности Солнца, долетая до Земли, превращается в водород, который соединяется с кислородом, оставшимся после фотодиссоциации, и образует вновь воду, которую условно можно назвать «солнечной водой», возможно служащей материалом для образования серебристых облаков. И. Хвостиков назвал эту воду «солнечным дождем».

Вот такова в предельно кратких чертах характеристика нашей ближайшей звезды — Солнца. Любопытно, что поэтическая астрофизическая характеристика этого светила, данная более 200 лет назад Михайло Ломоносовым (1711—1765), как схема немногим отличается от наших современных научных схем:

Куда бы смертным толь высоко
Возможно было возлететь,
Чтоб к Солнцу брэнно наше око
Могло, приблизившись, взореть;

Тогда б со всех открылся стран
 Горящий вечно океан.
 Там огненны валы стремятся
 И не находят берегов,
 Там вихри пламенны крутятся,
 Борющиеся множество веков.
 Там камни, как вода кипят,
 Горячи там дожди шумят.

Интересно, что позднее известный английский астроном Вильям Гершель (1738—1822), а также не менее известный французский физик и астроном Доминик Франсуа Араго (1786—1853) считали Солнце обитаемым, причем оба утверждали, что через солнечные пятна, как через дыры в наружной светящейся оболочке, виднеется черное холодное тело Солнца.

Планеты солнечной системы могут быть разделены на внутренние (находящиеся ближе к Солнцу) — группы Земли (Меркурий, Венера, Земля и Марс) и внешние — группы Юпитера (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун). Их общая характеристика приведена в табл. 3.

Таблица 3

Групповая характеристика планет солнечной системы

Характеристика	Планеты	
	группы Земли (внутренние)	группы Юпитера (внешние)
Плотность, $г/см^3$	Большая (4—5,5)	Малая (0,7—2,2)
Масса, принимаемая Землю за 1	Малая (4—5,5)	Большая (в десятки и сотни раз больше Земли, например у Юпитера — 318)
Преимущественный состав атмосферы	Азот или углекислота	Метан и аммиак
Размеры (диаметр, тыс. км)	Малые (6,8—12,8)	Большие (50—144)

Итак, планеты с малой массой имеют малые размеры и большую плотность, а планеты с большой массой — большие размеры и малую плотность. Любопытно, что почти вся масса солнечной системы сосредоточена в самом

Солнце, а на все 9 планет (со спутниками, астероидами и кометами) приходится всего около 1%. В то же время 98% момента движения солнечной системы заключено в орбитальном (а не осевом) движении планет.

Самой удаленной от Солнца из известных нам планет является Плутон, о которой мы еще очень мало знаем, так как она находится на расстоянии приблизительно 40 астрономических единиц и обладает сравнительно малыми размерами. Астрономической единицей (а. е.) называется среднее расстояние от Земли до Солнца, равное около 150 000 000 км.

У планет земной группы известны только три спутника: один у Земли и два у Марса, в то время как у планет-гигантов открыто 29 спутников, не считая колец Сатурна. При этом у планет-гигантов есть спутники, по величине близкие к планете Меркурий (например, третий и четвертый спутники Юпитера — Ганимед и Каллисто, а также шестой спутник Сатурна — Титан).

Орбиты четырех планет земной группы располагаются от Солнца не дальше 228 000 000 км, меньше 2 а. е. (орбита Марса), тогда как современная граница планетной (но не солнечной) системы — орбита Плутона — находится в 26 раз дальше.

Если взглянуть на нашу солнечную систему с учетом заполняющей ее массы планет, то это межпланетное пространство должно представиться совершенно пустым. В самом деле, если вообразить себе Солнце шаром, диаметр которого 70 см (размер большого мяча), то диаметр планетной системы по орбите Плутона составил бы 3 км, а Земля и Венера затерялись бы в этом громадном пространстве, как горошины. Размеры Марса и Меркурия были бы и того меньше (табл. 4).

В действительности межпланетное пространство заполнено помимо планет другими космическими телами, составляющими единый генетически взаимосвязанный в астрономическом масштабе времени комплекс: космическая пыль — метеориты — астероиды — кометы. Сюда же следует прибавить 32 спутника планет и кольца Сатурна. Диаметр спутников колеблется от 8 (Фобос — спутник Марса) до 5070 км (Ганимед — спутник Юпитера). У одиннадцати спутников диаметры более 1330 км, у восьми — менее 100 км. Для наглядности на рис. 4 представлены размеры наиболее крупных астероидов и двух спутников Марса в сравнении с размером Балтийского моря.

Некоторые постоянные Солнца, планет и Луны (цифры округлены)

Планеты	Продолжительность года, земные сутки	Период вращения вокруг оси, земные сутки	Экваториальный радиус		Масса		Плотность		Ускорение силы тяжести		Параболическая скорость	
			км	⊕=1*	10 ²⁴ кг	⊕=1	г/см ³	⊕=1	см/сек ²	⊕=1	км/сек	⊕=1
Солнце		609	696 000	109	1 984 000	330 666	1,4	0,25	27 000	27	—	—
Меркурий	88	58,4 ± 0,4	2485	0,37	0,3	0,05	5,6	1,02	352	0,36	4,2	0,37
Венера	225	242,98** ± 0,04	6056	0,98	4,9	0,82	4,9	0,89	850	0,87	10,3	0,92
Луна		656	1739	0,27	0,07	0,01	3,4	0,62	162	0,17	2,38	0,21
Земля	365	24	6379	1	6,0	1	5,5	1	982	1	11,2	1
Марс	687	25	3392	0,53	0,7	0,12	4,0	0,73	376	0,38	5,0	0,45
Астероиды	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Юпитер	4332	10	71 300	11,1	1901	3167	1,3	0,24	2600	2,5	61	5,4
Сатурн	10 752	10	59 500	9,3	569	94,8	0,7	0,13	1072	1,1	37	3,3
Уран	30 665	11	25 750	4,0	88	14,7	1,3	0,24	883	0,9	22	1,9
Нептун	60 148	16	24 950	3,9	103	17,2	1,6	0,29	1100	0,29	25	2,2
Плутон	90 510	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* ⊕ знак Земли.

** В обратном направлении. Из-за того, что на Венере орбитальный период почти равен периоду вращения вокруг оси, сутки на ней составляют около 118 земных суток. Период вращения приведен по данным 1970 г.

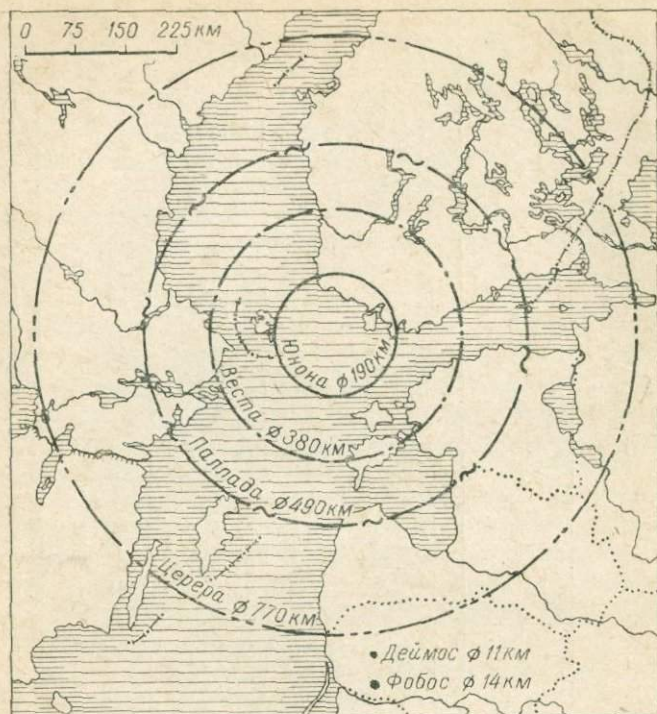


Рис. 4. Сравнение размеров четырех самых крупных астероидов и двух спутников Марса (Фобоса и Деймоса) с размерами Балтийского моря.

Все планетное пространство может быть условно поделено на две концентрические зоны: «теплую» и «холодную». Граница их проходит между орбитами Марса и Юпитера (рис. 5). Это деление планетного пространства на две резко неравные температурные зоны для нас очень важно при космической и планетной гидрологической характеристике. Неравенство зон действительно очень сильно: радиус «теплой» зоны приблизительно равен 0,5 млрд. км, радиус наружной в 10 раз больше.

Помимо астероидов, планет в солнечной системе содержатся кометы. С дальнего расстояния, например двойного среднего расстояния от Земли до Солнца (около 300 млн. км), комета представляется нам туманным пятнышком — комой, внутри которого иногда наблюдается уплотненное «ядро». При приближении к Солнцу у кометы образуется длинный светящийся хвост. По мере удаления от Солнца хвост ее укорачивается (будучи все время направленным

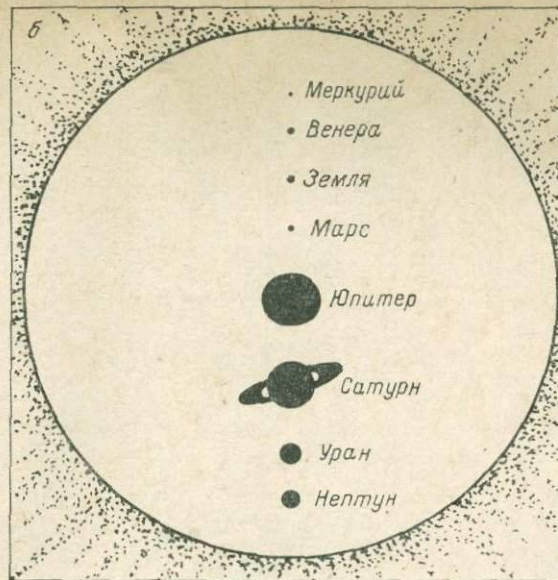
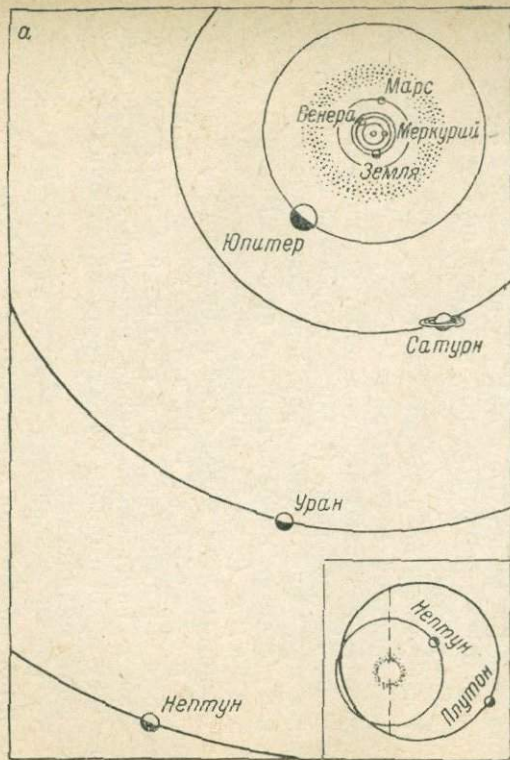


Рис. 5*. Планеты солнечной системы.

а — относительные расстояния орбит планет солнечной системы. Планеты типа Земли (Меркурий, Венера, Земля и Марс) находятся внутри пояса астероидов, показанного точечным пунктиром; орбиты планет типа Юпитера (Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун), расположенных за пределами пояса астероидов, даны в одном масштабе с орбитами планет

земной группы; во врезке в правом нижнем углу в сравнении с орбитой Нептуна показана орбита Плутона в резко уменьшенном масштабе; б — размеры диаметров планет солнечной системы по сравнению с диаметром Солнца (самая дальняя планета Плутон не показана).

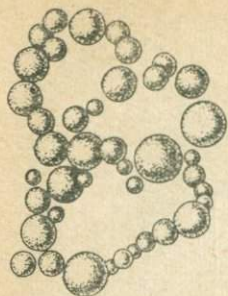


Рис. 6. Затвердевшие в атмосфере Земли мелкие брызги в форме шариков расплавившихся метеорных тел и метеорная пыль. Сильно увеличено.

в сторону от Солнца), яркость уменьшается, в конечном итоге она становится невидимой невооруженным глазом.

Размеры головы комет по сравнению с размерами Земли очень велики, однако твердое ядро комет имеет радиус всего несколько километров, а у многих даже меньше, зато хвост — десятки и даже сотни миллионов километров. Массы же комет по сравнению с земной совершенно ничтожны. Плотность оболочек комет составляет лишь десятитысячные доли плотности земной тропосферы. Наша планета неоднократно погружалась в хвостовую часть комет. Последний раз это произошло 20/V 1910 г., когда Земля погрузилась в хвостовую часть кометы Галлея, не испытав при этом никаких ощутимых воздействий. Да и не удивительно. Ведь плотность хвоста комет — это вакуум, который трудно создать даже в физической лаборатории. У поверхности ядра кометы наибольшая плотность газа 10^5 молекул в 1 см^3 , а у поверхности Земли — около $3 \cdot 10^{19}$ молекул. Недаром комету в шутку называют «видимое ничто».

К следующей по размерам категории космических тел нашей планетной системы принадлежат метеориты. Обычно так называют небесные тела, упавшие на Землю. Тела же, не достигшие Земли и сгоревшие в результате трения при входе в атмосферу, называют либо метеорами (если их яркость меньше яркости Венеры), либо болидами (если их яркость больше). В дальнейшем все планетные тела менее 1 км в диаметре мы будем называть метеоритами, а тела менее десятой доли миллиметра в диаметре — метеорной пылью. Последняя в поперечнике может измеряться микронами, а по весу такая пылинка может составлять лишь миллионные доли миллиграмма.

На рис. 6 изображена сильно увеличенная метеорная пыль, прошедшая через земную атмосферу и упавшая

на Землю. Частицы ее имеют форму шариков с тонкой корой плавления. Это мелкие осколки метеоритов, претерпевших дробление и оплавление. Большое количество мелкой и мельчайшей метеорной пыли, упавшей на Землю в виде магнетитовых шариков, находят в отложениях океанического дна, в ледниковых отложениях заполярных областей и в других местах.

По составу метеориты могут быть разделены на 3 группы:

1) железные (сидериты), самый крупный из них «Гоба» упал в Юго-Западной Африке, весит более 60 т; они составляют 5,7% общего числа метеоритов;

2) железо-каменные (сидеролиты), составляющие лишь 1,5%;

3) каменные (аэролиты), самым крупным является «Парагулд» (США) весом 0,34 т. На каменные метеориты приходится 92,8% всех упавших метеоритов, а большая часть их принадлежит хондритам (90%), содержащим так называемые хондры (округлые образования диаметром 0,5—1,0 мм и больше). Это быстро затвердевшие капли расплавленных силикатов (соединений кремния, подобных стеклу, кварцу и т. д.). В хондритах присутствует также до 13% никелистого железа.

При падении метеорита может образоваться крупный кратер (до 3 км в диаметре). Метеорит «Каньон Дьябло» (США, штат Аризона) образовал кратер диаметром 1220 м, глубиной 184 м (в который можно опустить почти два ленинградских Исаакиевских собора). Давление во время удара, происшедшего несколько десятков тысяч лет назад с космической скоростью, достигало миллионов атмосфер. Содержание воды во внутренних частях осколков — 13%. В осколках неравномерно были распределены алмазы.

Плотность межпланетной среды оценивается в 10^{-23} — 10^{-21} г/см³ (в среднем 10^{-22} г/см³). Что это значит? Если вещество было бы представлено чистым железом, то один атом его содержался бы в 56 км³ пространства, а если бы оно было представлено водородом, то один его атом содержался бы в 1 км³ пространства.

В межпланетном газе, средняя плотность которого все же в 10 тысяч раз больше, чем в межзвездном пространстве, чаще всего содержатся атомарные (нейтральные) и ионизированные (положительно заряженные) частицы водорода и гелия, а также свободные странствующие электроны. Средняя плотность свободных электронов в межпланетном пространстве около 50 в 1 см³, а, например,

в приповерхностном слое Луны — в 200 раз больше. Плотность материальных частиц в различных частях межпланетного пространства неоднородна.

Трудной характеристикой этого пространства является температурная. Что же такое температура вообще и межпланетного пространства в частности? Температурой называется степень теплового состояния вещества, которое обусловлено скоростью движения молекул и других частиц. Каждая молекула движется прямолинейно со скоростью примерно 1 км/сек , но пролетает сравнительно очень малый путь, так как даже за 1 сек происходит около 10 000 000 столкновений ее с другими молекулами (для разных температур эти величины различны). Чем выше скорость движения частиц, тем больше соударений их с соседними и тем выше температура данного тела.

Ну а если у нас нет никакого вещества и пространство представляется почти полным вакуумом, т. е. отсутствуют всякие частицы, можно ли тогда говорить о температуре? Конечно, нет. Мы не можем тогда говорить даже и об абсолютном нуле, так как последнее понятие предусматривает полный покой частиц, а если их нет, самое понятие температуры в привычном для нас смысле становится абсурдом. Итак, какова же возможная температура межпланетного пространства?

По словам английского астронома А. С. Эддингтона (1882—1944), подобное пространство одновременно и исключительно холодно и чрезвычайно горячо. Но если мы будем иметь дело с неким довольно значительным телом в этом пространстве, то его температура будет зависеть: 1) от расстояния до теплового излучателя, в нашем случае Солнца; 2) от зональности космического тела: температуры стороны, обращенной к Солнцу, и теневой различны, причем разность температур может достигать несколько сотен градусов; 3) от наличия или отсутствия между Солнцем и космическим телом защитного экрана, которым может быть не только другое, непрозрачное тело, но и полупрозрачное пылевое «облако»; 4) от отражательных свойств данного тела — цвета, фактуры поверхности, теплоемкости и многих других.

Под температурой какого-либо сравнительно крупного космического тела будет пониматься его температура, но с обязательными оговорками о месте ее измерения (на поверхности, в окружающей газовой оболочке, расстоянии от поверхности) и условиях освещенности.

Сколько ничтожна по своему объему та часть Вселенной, которая была бегло рассмотрена нами выше, можно видеть из того, что даже ближайшая к нам звезда нашей Галактики — Проксима (она же альфа-Центавра) находится от нас на расстоянии, которое пробегает луч света за 4 года 3 месяца и 20 дней, а скорость света, как известно, 300 000 км/сек.

Однако не только межзвездное пространство, но даже наша планетная система окончательно далеко еще не изучены. Еще открыты, по-видимому, не все планеты и их спутники. Только недавно, в 1966 г., французским астрономом О. Дольфюсом был обнаружен новый 10-й спутник Сатурна — Янус, диаметром 350 км, с плотностью 0,7 и периодом обращения 18 ч. Есть основания предполагать, что у Сатурна имеется еще 11-й спутник с возможным периодом обращения 15—12 ч. Весьма вероятно, что не открыты еще спутники у Юпитера и Урана, что не известны еще планеты между Солнцем и Меркурием и за пределами Плутона. Исследователей межпланетного пространства ждут многочисленные и неожиданные открытия. Закончим эту главу словами французского академика XVIII в. Жана Даламбера: «Тому, кто сумеет постичь Вселенную с единой точки зрения, мироздание покажется неповторимым явлением и великим откровением».

III. О СПОСОБАХ ПОЗНАНИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

Как полезно изучение астрономии для умаления людского высокомерия! Оно заставляет людей быть скромнее.

И. Поле, 1903



ПЕРВУЮ информацию о планетах в течение многих тысячелетий человек получал, принимая невооруженным глазом видимое электромагнитное излучение, отраженное от небесных тел и посылаемое Солнцем.

Электромагнитные волны могут быть не только различной длины, но и проходить мимо наблюдателя с разной частотой в секунду и обладать различной скоростью. Частота излучения волн — это число гребней или впадин в одну секунду, проходящих мимо наблюдателя. Длина волны, умноженная на частоту излучения, даст скорость прохождения волнового излучения. Частоты выражаются в герцах (по фамилии немецкого физика Герца). Диапазон длины волн от 4 до 7,5 десятитысячных миллиметра — это видимая часть спектра (рис. 7), который вы воспринимаете также с помощью электромагнитных волн.

Вправо от видимой части спектра располагаются невидимые инфракрасные лучи, обнаруживаемые в настоящее время приборами по тепловому эффекту. Еще правее излучение с более длинными волнами обнаруживается с помощью радиоприемников.

Влево от видимого света коротковолновое ультрафиолетовое излучение и еще более коротковолновое рентгеновское излучение могут быть уловлены, измерены и изучены, как и световые лучи, по их химическому воздействию на фоточувствительную эмульсию пленки.

Небесные тела испускают сами или отражают падающие на них электромагнитные волны. Например, видимая часть солнечного излучения отражается от планет, благодаря чему человек может наблюдать их невооруженным глазом. Другие электромагнитные волны могут испускаться самим небесным телом, а также отражаться в результате падения невидимых глазу лучей либо от Солнца, либо от специальных земных приборов. Например, отражаются некоторые радиоволны, направляемые с Земли на летящий в заоблачной выси самолет и принимаемые специальными приборами на Земле (радиолокаторами). Скорость распространения электромагнитных волн очень велика. Так, свет распространяется со скоростью 300 тыс. км/сек и затрачивает на преодоление расстояния от Солнца до Земли всего 8,33 мин.

Корпускулярному излучению в форме протонов, тяжелых частиц и гамма-квантов требуется для прохождения расстояния от Солнца до Земли целый час, а излучению в форме электронов — даже 48 ч.

Самый древний и самый простой астрономический инструмент из всех нам известных — гномон. Он состоит из вертикально стоящего стержня, отбрасывающего тень на горизонтальную плоскость. Этот прибор широко известен под названием «солнечные часы». Гномоном пользовались астрономы Китая за 1100 лет до н. э. С помощью этого прибора они определяли наклон эклиптики и высоту экватора над горизонтом. В 1467 г. Павел Тосканелли построил гномон высотой 90 м.

Первыми приборами, позволившими изучать планеты, были телескопы. Впервые телескоп был сконструирован еще в 1609 г. великим итальянским физиком и астрономом Галилео Галилеем, правда, по образцу уже существовавшей к тому времени в Голландии зрительной трубы («подзорной трубы»). Известны телескопы двух родов: рефракторы и рефлекторы.

Первые основаны на применении системы линз, через которые изучается небесный объект, а у вторых линзы заменены вогнутым зеркалом. В настоящее время используются главным образом телескопы-рефлекторы.

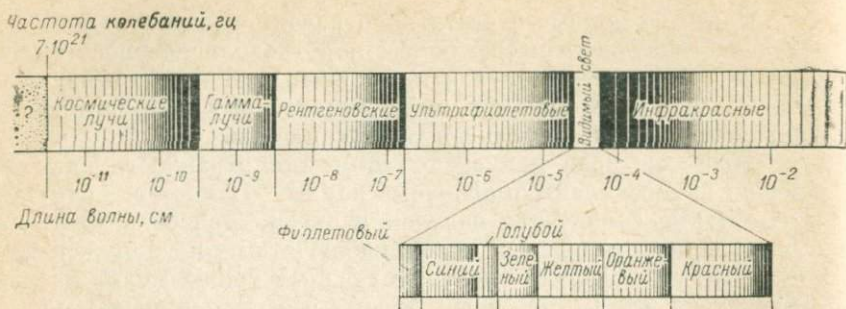


Рис. 7. Спектр электро
Видимые волны света приведены в верхней части чертежа, увеличено в 15 раз. Все
волны и частоты колеба

За последние полвека наземные наблюдения и фотографии посредством новых, все более увеличивающихся в диаметре телескопов, по мнению многих астрономов, не дали ничего принципиально нового в отношении изучения деталей на дисках планет.

Самый крупный в мире действующий рефрактор имеет диаметр линзы 102 см. Он находится в Йоркской обсерватории США. Строить рефракторы большего диаметра технически невозможно из-за прогиба линзы объектива. В СССР самый крупный рефрактор с линзой 65 см находится в Пулковской обсерватории. Крупнейший рефлектор с диаметром зеркала 5 м находится в США, в обсерватории Паломар. Чтобы представить его разрешающую способность, скажем лишь, что он позволяет увидеть каж-

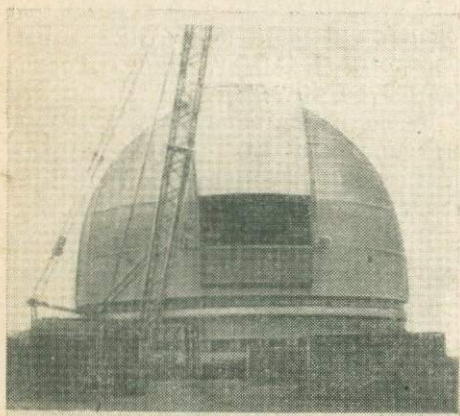
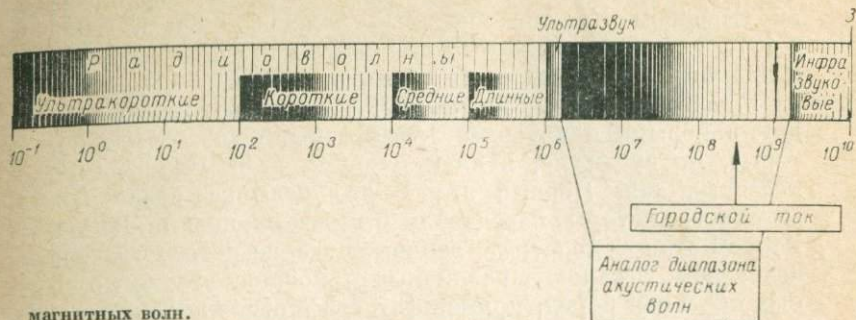


Рис. 8. Строящаяся башня
самого гигантского в мире
телескопа (рефлектора) на
Северном Кавказе.



магнитных волн.

границы с названиями различных диапазонов длин
ний условны.

дую из двух сложенных вместе спичек на расстоянии
10 км.

В СССР на Северном Кавказе сооружается крупней-
ший в мире рефлектор с диаметром зеркала 6 м (рис. 8).

Помимо оптических телескопов для изучения небес-
ных тел широко применяются подвижные и неподвижные
радиотелескопы. Однако угловая разрешающая способ-
ность даже самых крупных из них меньше, чем неболь-
ших оптических рефлекторов или рефракторов.

В связи с тем, что поступающие на Землю электромаг-
нитные волны, проходя через нашу атмосферу, сильно
ослабляются поглощением, рассеянием и отражением,
делались неоднократные попытки поднимать необходи-
мые приборы с телескопами на аэростатах или устанавли-
вать их на спутниках с передачей информации на Землю
по радио или посредством спуска снимков на пара-
шютах.

В США 7/XII 1968 г. была запущена орбитальная
обсерватория OA02, которая, в частности, сфотографи-
ровала комету Таго-Сака-Косака. Последняя оказалась
окружена водородным облаком, по диаметру сравнимым
с размерами Солнца. Это облако образовалось за счет
испарения ледяного ядра кометы под действием солнеч-
ного излучения. Кроме того, в межзвездной пыли были
обнаружены графитовые зерна.

В СССР в 1971 г. также была запущена орбитальная
обсерватория.

Насколько эффективно наблюдение Вселенной с лун-
ной поверхности, видно из того, что телескоп на Луне
с диаметром зеркала в 1 м эквивалентен земному теле-
скопу с диаметром зеркала 80 м. Таким образом, вместо

нашего величайшего в мире шестиметрового рефлектора на Северном Кавказе, который должен войти в строй в 1972 г., можно было бы установить на Луне рефлектор с диаметром зеркала всего лишь в 7,5 см.

В настоящее время изучение Луны и планет проводится двумя новыми и наиболее эффективными способами, которые, по существу, являются двумя этапами познания небесных тел. Первый этап — это посылка различных автоматов, которые передавали бы информацию на Землю. Второй этап — непосредственное изучение небесного тела человеком, установка различных приборов, взятие крупных образцов пород, прямое фотографирование (без искажающих телевизионных устройств). Второй этап изучения осуществляется пока только в отношении Луны.

В СССР были запущены автоматические станции на Луну и на Венеру. На автоматической станции «Луна-17» был установлен луноход, одной из основных задач которого — изучить способность механизма двигаться по неисследованной поверхности Луны, проведение широкого комплекса научных и технических экспериментов по геолого-морфологическому и топографическому изучению лунной поверхности, исследованию физико-механических свойств грунта и другие, выполнявшиеся установленными на луноходе приборами с телеметрической системой передач информации на Землю.

В США также в разное время направляли автоматические станции для изучения Луны, Марса и Венеры, но, помимо того, были отправлены и крупные космические корабли «Аполлоны» с астронавтами на борту. Но пока путешествие человека к этим планетам — дело сложное, трудное и опасное. Поэтому отправка автоматических зондов с телепередачей измерений и фотоснимков, вероятно, еще долго будет применяться как наиболее легкий метод изучения далеких планет, хотя, конечно, «легкость» здесь относительная. Разумеется, человечество будет все более и более ускорять освоение космического пространства, явно выявляя антропокосмическую направленность научного творчества и, как сказал М. Монтень: «Пытливости нашей нет конца... Ни один благородный ум не остановится на достигнутом... Пища его — изумление перед миром, погоня за неизвестным — дерзновение».

IV. ВОДА В МЕЖПЛАНЕТНОМ ПРОСТРАНСТВЕ, В КОМЕТАХ, АСТЕРОИДАХ И МЕТЕОРИТАХ

Комет так же много, как рыб в море.

И. Кеплер



Х ОЗЯИНОМ всего нашего межпланетного пространства является Солнце. Оно оказывает исключительно большое влияние на все тела, заключенные в этом пространстве.

Весной в начале ночи в западной половине неба, а осенью под утро в восточной части неба при достаточно хороших атмосферных условиях можно отчетливо видеть светлую полосу в форме конуса, не уступающую по яркости Млечному Пути. Это так называемый зодиакальный свет. Исследованиями установлено, что он образуется в результате рассеяния солнечного света пылевой материей межпланетного пространства. Свечение солнечной короны образуется также в результате рассеяния солнечного света на частицах метеорной пыли. При рассеянии света под малыми углами мы воспринимаем свечение солнечной короны, а при больших углах — зодиакальный свет.

Пылевой материал распределен в пространстве очень неравномерно. Вокруг крупных тел (астероидов, планет и их спутников) в результате гравитационного притяжения образуется более плотная пылевая оболочка.

В самом пространстве могут создаваться сгущения пыли, образующие своеобразные пылевые «облака», или рои. Скорость движения пылевых частиц в пространстве достигает десятков километров в секунду и зависит от очень многих влияний.

Кроме пылевых частиц в межпланетном пространстве мы наблюдаем значительное количество более крупных тел (от миллиметров до 1 км в диаметре), называемых метеоритами. Они также неравномерно распределены в пространстве, часто образуют скопления в форме роев. Метеорные рои, движущиеся также по своим орбитам, периодически встречаются с Землей, и тогда мы наблюдаем падающие на Землю метеорные потоки («падающие звезды»), многим из которых присвоены имена. Падение их приурочено к определенным временам года. Например, Персеиды — 10—14 августа, Леониды — 16—17 ноября, Гемениды — 12—13 декабря и т. д. Число «падающих звезд» (метеоров) — от нескольких единиц до многих тысяч. Например, 9 октября 1933 г. интенсивность падения метеоров достигала 130 тысяч в час. Всего в эту ночь на Землю упали сотни миллиардов метеоров. При прохождении через земную атмосферу со скоростями 20—70 км/сек метеориты в результате трения обгорают с поверхности (рис. 9).

Наиболее крупные из них, достигнув Земли, образуют на ее поверхности кратеры, имеющие диаметр до 1 км и более. Например, диаметр Аризонского кратера в США 1,2 км; кратера Чабб в Канаде — 3,5 км, кратера на о. Саарема (бывш. Эзель) в Эстонии — около 100 м, кратера на Сихотэ-Алине (Дальний Восток СССР) — около 28 м и т. п.

Надежным и достоверным вестником о химическом составе материи, занимающей межпланетное пространство, следует считать те «небесные камни», которые время от времени падают на нашу Землю*.

Первые бесспорные сведения о содержании внеземной воды были получены в XIX столетии итальянским химиком Пизани, исследовавшим метеорит, упавший близ Оргейля в Южной Франции 14/V 1864 г. Воды оказалось 13,9%. Советский ученый Л. Г. Кваша в 1947 г. открыл в составе хлорид-серпентина (в метеорите) около 20% гидроксильного иона (ОН). Это так называемая хими-

* Самый крупный железный метеорит «Гоба», упавший в Юго-Западной Африке, весит более 60 т; самый крупный каменный метеорит «Парагулд» (США) весит 338 кг.



Рис. 9*. Крупный метеорит, упавший во Франции.
Хорошо видна оплавленная поверхность.

чески связанная вода, входящая в состав кристаллической решетки минерала, при нагревании может быть выделена в форме обычной молекулы воды (H_2O). Среднее же содержание воды в метеоритах, упавших на Землю, 0,5—1 вес. %, иногда оно достигает значительно больших величин, например в углистых хондритах (метеорит «Мигей» содержал 13% воды, метеорит «Старое Борискино» — 12%).

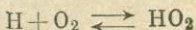
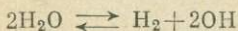
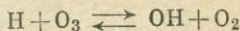
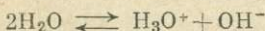
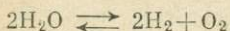
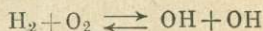
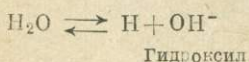
В старинных хрониках описаны случаи падения чисто ледяных метеоритов: в 1802 г. в Венгрии ледяной глыбы весом 0,5 т, в 1863 г. в Западной Голландии (Фландрии) — весом 6 кг и ряд других. В настоящее время эти случаи не могут быть бесспорно доказанными. Но независимо от того, падали эти глыбы в действительности или нет и может ли глыба космического льда упасть на Землю из межпланетного пространства, можно с уверенностью утверждать, что вода должна существовать в межпланетном пространстве. И вот почему.

Твердые частицы — от космической пыли и до метеоритов (более крупные тела мы будем рассматривать в отдельной главе) — содержат химически и физически

с в я з а н н у ю воду в форме молекулы H_2O , гидроксильного иона OH или гидрооксония H_3O . Подвергаясь подчас высоким температурам под влиянием солнечной радиации, эти твердые частицы могут выделять на свою поверхность молекулы воды, которые из-за высокой разреженности пространства должны будут испаряться, а под влиянием той же солнечной радиации и ионизирующего воздействия плазмы «солнечного ветра» разлагаться (т. е. диссоциировать). Молекула воды H_2O разлагается на H и OH ; гидроксил OH — на водород и кислород.

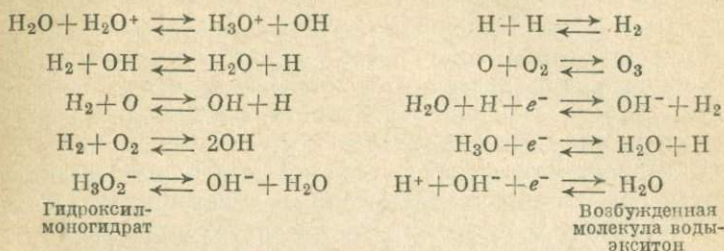
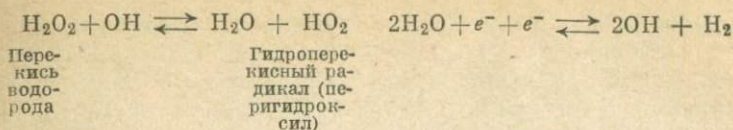
Учитывая, что межпланетное пространство одновременно может считаться очень горячим и очень холодным, а также то, что оно сильно ионизировано солнечной плазмой и пронизывается коротковолновой радиацией, мы имеем все основания допустить широкое (конечно, относительно широкое) распространение свободных радикалов* в различных комбинациях водорода и кислорода, а также ионов водорода и кислорода. Правда, кислорода в межпланетном пространстве в несколько миллионов раз меньше, чем первого.

На поверхности твердых тел (при отсутствии вокруг них атмосферы) возможна встреча возбужденных молекул воды, ионов гидрооксония (H_3O^+), радикалов OH^- и гидратированных электронов (e^-aq)**. Эти заряженные частицы и свободные нейтральные атомы, а также возбужденные молекулы воды могут давать в пространстве реакции самых разнообразных, подчас неустойчивых комбинаций:



* Радикал — это молекула, которую покинул один из ее атомов, оставив вместо себя один свободный, неспаренный электрон. Радикалы обладают высокой химической активностью и легко вступают в реакции. Они представляют собой «осколки» молекул, чаще всего находящиеся в электронновозбужденном состоянии. В настоящее время установлено, что молекулы всех химических соединений построены из радикалов.

** e^- электрон (может быть гидратирован); aq — сокращение латинского слова — aqua — вода.



Электромагнитное и корпускулярное излучение Солнца диссоциирует молекулы, ионизирует их и образовавшиеся из них атомы, а также может приводить к рекомбинациям*. Возникает своеобразный ионно-атомно-молекулярный «калейдоскоп».

Не следует считать, что все приведенные выше обратимые реакции были обнаружены в межпланетном пространстве или на поверхности малых твердых тел, находящихся в нем. Учитывая большое разнообразие термодинамических условий в различных частях этого пространства и на различных телах (и сторонах этих тел по отношению к Солнцу), мы можем допустить вероятность перечисленных диссоциаций и ассоциации между атомами, ионами, радикалами, молекулами, т. е. частицами, как несущими заряд, так и нейтральными, принадлежащими водороду и кислороду. Дальнейшие исследования покажут, какие из этих реакций действительно имеют место, а какие окажутся не подтвержденными наблюдениями.

Конечно, такие соединения, как перекись водорода, перигидроксил, озон и другие, а также заряженные атомы в обычных условиях весьма неустойчивы, но, попав в низкие температуры, они способны к длительному существованию.

Межпланетная среда с низкими температурами и интенсивным облучением коротковолновой радиацией (ультрафиолетовой, рентгеновской, гамма-лучами) способствует

* Процесс, обратный ионизации, называется рекомбинацией и представляет собой захват ионом электрона. В результате может образоваться как возбужденный, так и невозбужденный атом. При рекомбинации обычно выделяется энергия в виде светового кванта (фотона).

образованию замороженных радикалов. Подобный процесс происходит, когда какое-то тело сравнительно длительное время обращено к Солнцу только одной своей стороной. В этом случае на теневой стороне тела (при сравнительной значительности его) может образовываться лед. При этом необходимо учитывать такие свойства поверхности тела: цвет, определяющий отражательную способность, так называемое альbedo, фактуру поверхности, форму, степень прозрачности, физико-химическую характеристику тела и его структуру.

В зависимости от этих условий отдельные ледяные глыбы под влиянием солнечной радиации могут вести себя различно. В то время, как на поверхности льда протекает процесс сублимации, внутренние части остаются в твердом состоянии.

Приближаясь к Солнцу, космические льды начинают «таять» и испаряться. При этом таяния в буквальном смысле не происходит, а твердая фаза воды превращается, минуя жидкую, сразу в парообразную. Такой процесс часто наблюдается и у нас на Земле, когда при морозе, в ясный солнечный день лед, минуя жидкое агрегатное состояние, превращается в газообразное (водяной пар). Этот процесс носит название сублимации. И другой случай. При наличии в прочном льду твердых темных включений, может начаться таяние внутри глыбы льда. Такая возможность для земных условий экспериментально доказана Тиндалем. Это один из случаев, доказывающих возможность нахождения в межпланетном пространстве (в космических телах малых размеров) жидкой фазы воды (не связанной ни химически, ни физически).

Однако, как уже отмечалось, не только расстояние от Солнца определяет возможность конденсации и намораживания. Следует учитывать, что сублимация в сильно разреженном межпланетном пространстве происходит при значительно более низкой температуре, чем в земной атмосфере, где она задерживается присутствием посторонних газов, подобно тому, как в электрической лампочке сублимация вольфрамовой нити задерживается окружающим азотом.

В. М. Красовским в 1962 г. доказывалась возможность устойчивости соединения из гидроксидов (ОН) и перигидроксидов (НО₂) — молекулы воды (Н₂О) — по реакции: $ОН + НО_2 = Н_2О + О_2$ (см. выше). Правда, это утверждение относится не к межпланетному пространству, а к высоте около 100 км над нашей планетой,

т. е. примерно на высоте сторания метеоров («падающих звезд»).

Возможно, что кристаллики льда перламутровых облаков (высота 30 км) и серебристых облаков (высота 82 км) также космического происхождения. Но это больше имеет отношение уже к верхней атмосфере Земли, о которой речь впереди.

О ледяных метеоритах неоднократно писал наш геолог, минералог и поэт П. Л. Драверт, который свои взгляды на этот вопрос изложил поэтически в стихотворении «Космический лед», написанном им в 1921 г. и изданном в 1957 г. в его сборнике «Стихи о Сибири».

В пространстве мировом, среди метеоритов,
Обильных никелем, железом, как руда,
Среди загадочных, чужих для нас хондритов
Извечно носятся, блуждая, глыбы льда.

Сложившись в агрегат кристаллов тригональных,
Противоборствуя невидимым волнам,
Они бегут в своих кругах астральных,
Пока неведомых и недоступных нам...

Порой одни из них в бессменности движенья
Скрестят свои пути с орбитой земной
И, слепо верные законам притяженья,
Свергаются в наш мир для участи иной.

Стремительно летя в воздушные пучины,
Созданья темных недр холодной пустоты,
Вращаются, светясь, космические льдины,
И тают их тела в объятьях теплоты...

И выпав на утес, от зноя раскаленный,
Остатки хрупкие когда-то мощных масс,
Кончая век, быть может миллионный,
Последний скорбный свой переживают час.

А солнце превратит их скоро в пар незримый,
Сольется тесно он с громадой облаков,
И примем мы потом в плодах Земли рдимой
Частицы влажные исчезнувших миров.

О кометах и астероидах, иначе называемых малыми планетами, мы говорили при описании солнечной системы (см. главу II). Здесь остановимся лишь на происхождении комет и астероидов, а также на их составе и в первую очередь на наличии или отсутствии в них воды.

Уже давно была замечена связь между кометами и астероидами. Наблюдениями установлено, что по путям движения некоторых комет движутся метеорные потоки.

Кометы движутся чаще по эллиптическим и гиперболическим орбитам, а орбиты астероидов приближаются

к круговым. Однако существуют кометы, орбиты которых близки к круговым и которые движутся по эллипсам с большой вытянутостью орбит.

Известно много гипотез о происхождении комет, но ни одна из них до настоящего времени не может считаться общепринятой. Трудно говорить о происхождении небесных тел, с физикой которых мы начали знакомиться лишь в последнее десятилетие.

Изучение спектров комет позволяет приблизительно установить их состав. Твердое ядро кометы представляет собой лед, состав которого неизвестен, с включением пыли. При нагревании Солнцем из ядра испаряются так называемые родительские молекулы, имеющие сложный состав и малое время жизни. При поглощении солнечной радиации родительские молекулы распадаются на более устойчивые, так называемые дочерние молекулы, свечение которых мы и наблюдаем в голове (атмосфере) комет. Спектры головы кометы указывают на существование там C_2 , CN , OH , NH , NH_2 , $N\bar{a}$ и т. п. В хвостах комет чаще всего наблюдаются ионизированные CO , N_2 , а в спектрах комет — запрещенные линии атомов кислорода, которые нельзя получить в земных лабораторных условиях.

V. ОБВОДНЕННОСТЬ ПЛАНЕТ

Оба элемента — и водород, и кислород — в общей химии Космоса играют огромную роль.

В. И. Вернадский, 1939



МЕЖПЛАНЕТНАЯ* и межзвездная среда, Солнце, звезды и крупные планеты-гиганты солнечной системы почти на 99% состоят из водорода и гелия. Планеты земной группы, если судить по составу одной из них — Земли (а такое суждение с некоторым приближением допустимо), состоят преимущественно из кислорода, железа, кремния и магния (около 92 вес. %). На четыре других элемента (серу, никель, кальций и алюминий) приходится только около 8%, на оставшиеся многочисленные элементы периодической системы (более 80) — лишь около 1% (табл. 5). В этой таблице поражает сходство не только состава метеоритов и Земли, но и весовых содержаний элементов.

Таким образом, метеориты (вероятно, и малые планеты — астероиды), межпланетная пыль, а также четыре планеты земной группы с их спутниками

* Круг с перекладиной, изображенный здесь рядом с буквой М, является средневековым знаком алхимиков, символизирующим поваренную соль (NaCl), являющуюся главной составной частью в растворах природных вод наземной и подземной гидросфер Земли.

по составу резко отличаются от других тел солнечной системы. Следует отметить, что масса вещества Солнца и планет-гигантов почти в 170 тыс. раз больше массы планет земной группы с их спутниками, всеми астероидами, метеоритами и пылью.

Рассматривая состав планет земной группы, необходимо отметить закономерность увеличения содержания тяжелых элементов от Меркурия к Марсу. На Меркурии железа содержится на 56% больше, чем в земных недрах.

Таблица 5

Порядок содержания отдельных элементов

№ п/п	Метеориты		Земля в целом		Солнце	
	Элемент	Вес. %	Элемент	Вес. %	Элемент	Вес. %
1	Кислород	35	Кислород	33	Водород	62
2	Железо	25	Железо	29	Гелий	36
3	Кремний	18	Кремний	17	Кислород	1
4	Магний	14	Магний	13	Углерод	0,3
5	Сера	2	Сера	2	Азот	0,08
6	Никель	1,4	Никель	2	Кремний	0,07
7	Кальций	1,4	Кальций	1,6	Магний	0,03
8	Алюминий	1,3	Алюминий	1,4	Сера	0,03
	Всего	98,1	Всего	99	Всего	99

«ГОРЯЧАЯ» ПЛАНЕТА — МЕРКУРИЙ

Успешности наблюдений над Меркурием мешают, главным образом, яркие лучи Солнца, от которого эта планета вообще не удаляется более чем на 23°.

Иозеф Иоганн Литров, 1834



слово «меркурий» латинское и в переводе означает — ртуть. Как имя собственное в древнеримской мифологии оно было присвоено весьма подвижному богу торговли, дорог, посланцу богов. Планета Меркурий получила свое название за подвижность. Будучи самой близкой к Солнцу планетой, она быстрее остальных обращается вокруг него (за 88 земных суток). В древнегреческой мифологии бога торговли называли Гермесом. Однако греки называли планету Меркурий Гермесом тогда, когда она появлялась на небосклоне вечером, в лучах заходящего Солнца. Ту же планету утром они называли Аполлоном, так как полагали, что это два разных небесных тела.

Знак планеты Меркурий ♿ представляет собой «кадуцей», т. е. жезл, служивший отличительным признаком глашатаев у греков и римлян.

Планету Меркурий мы называли «горячей», так как ее поверхность, по сравнению со всеми планетами солнечной системы, в той части, которая в данный момент обращена к Солнцу, обладает наивысшей температурой. Среднее расстояние орбиты Меркурия от Солнца в 2,5 раза меньше среднего расстояния орбиты Земли от Солнца (в среднем 58 млн. км). Ближайшая от Солнца точка орбиты планеты называется перигелий, а наиболее отдаленная — афелий. В перигелии Меркурий на 23 млн. км ближе к Солнцу, чем в афелии.

До 1965 г. считали, что планета Меркурий всегда обращена к Солнцу одной и той же стороной, т. е. что период вращения планеты вокруг своей оси равен периоду обращения ее вокруг Солнца (88 земных суток). Но в 1965 г. американскими астрономами Петтенгиллом и Дейсом в Аресибо на о. Пуэрто-Рико были проведены радиолокационные наблюдения за Меркурием с помощью 300-метрового радиотелескопа. В результате установлено, что период вращения Меркурия вокруг оси по отношению

к звездам (сидерический период*) равен 58,4 земных суток. Точность определения $\pm 0,4$ суток. При этом ось вращения была приблизительно перпендикулярна к плоскости орбиты планеты, а направление вращения — прямое, т. е. такое, как Солнца и большинства других крупных небесных тел. Таким образом, продолжительность меркурианских солнечных суток равна 180 земным суткам, т. е. между двумя восходами Солнца на Меркурии проходит примерно два меркурианских года. Так как период обращения Меркурия вокруг Солнца равен 88 земным суткам, а период вращения его вокруг своей оси — 58 суткам, то отсюда следует, что период вращения равен $\frac{2}{3}$ периода обращения.

Меркурианский год длится один меркурианский день или одну меркурианскую ночь. Продолжительность дня на Меркурии (и ночи) равна трем земным месяцам, а сутки — земному полугодию. Однако не надо забывать, что Меркурий движется по очень вытянутой орбите — эллипсу и в перигелии движется быстрее, чем в афелии.

Отражательная способность поверхности Меркурия аналогична лунной. Альbedo** Меркурия равно 0,056, а у Луны — 0,067. Такая малая отражательная способность и большая близость к Солнцу приводят к очень высокой температуре подсолнечной стороны поверхности Меркурия. На подсолнечной стороне планеты диск Солнца при нахождении Меркурия в перигелии будет по площади в 10 раз больше, чем видимая с Земли площадь Солнца. В афелии он будет в 4,6 раза больше, чем с Земли, и во столько же раз больше получает Меркурий тепла и света, чем Земля. Температура подсолнечной стороны Меркурия следующая (значения ориентировочные), °C: в перигелии +437, в афелии +285, в среднем +330.

Если Меркурий находится в перигелии, то по периферии его освещенной Солнцем площади при падении солнечных лучей под углом 10° к горизонту температура поверхности планеты около $+180^\circ$ C. В это время температура поверхности Меркурия на ночной стороне может опуститься ниже -120° C (а может быть и того менее).

* От латинского слова «сидус» (сидерис) — звезда. Сидерический период — звездный период, когда планета сделает полный оборот на небе и возвращается к тем же звездам.

** Альbedo — от лат. «белизна» — число, показывающее, какую часть падающей лучистой энергии отражает данная поверхность. Альbedo, равное 1, означает, что лучи полностью отражаются; если альbedo равно 0,4, это значит, что лишь 40% лучей отражается от данной поверхности.

Между ночной и дневной сторонами вращающегося вокруг своей оси тела при обращении его одновременно вокруг источника света будет всегда находиться полоса, граничащая с днем и ночью (светом и тенью). Граница между освещенной и неосвещенной поверхностью называется *терминатором*. Так как максимальный перепад температур на Меркурии предположительно равен 577°C ($+437^{\circ}$ и -120°C), то между центрами подсолнечной и ночной стороны должны встречаться все промежуточные температуры между указанными крайними значениями, в том числе и средние температуры, обычные для нашей планеты — Земли.*

Надо учитывать, что Меркурий, будучи самой близкой к Солнцу планетой, обращается вокруг него очень быстро и в зоне перигелия, имея скорость 55 км/сек , находится только в течение нескольких земных суток. В то же время скорость вращения точки на экваторе Меркурия около 2 км/сек . Все же средняя дневная температура на экваторе Меркурия значительно выше точки кипения воды, а ночная ниже точки ее замерзания.

Масса Меркурия равна $1/20$ массы Земли. Сила тяжести на его поверхности в 3 раза меньше, чем на Земле, и примерно во столько же раз меньше параболическая скорость** — $4,2\text{ км/сек}$ (вместо $11,2\text{ км/сек}$ для Земли). Поэтому Меркурий должен терять в пространство не только такие легкие газы, как водород и гелий, но и более тяжелые, как кислород, азот, двуокись углерода. Диссипация, т. е. улетучивание некоторых газов из атмосферы, при температуре 527°C для Меркурия может быть представлена следующими значениями при условии полного удаления этих газов: водород — 0,1 года; гелий — 3 года; кислород — 1 млн. лет; азот и углекислый газ — 10 млрд. лет.

У Меркурия есть атмосфера, но только небольшой мощности и сильно разреженная. Приповерхностная атмосфера планеты разрежена примерно так же, как и

* Эти ориентировочные цифры получены при нахождении Меркурия в перигелии на подсолнечной стороне. В афелии максимум составляет $+285^{\circ}\text{C}$, а среднее значение $+330^{\circ}\text{C}$. Эти данные получены по измерениям инфракрасного излучения термoeлементом.

Дж. Орияг (1966) приводит другие значения: максимум $+445^{\circ}\text{C}$, минимум $+34^{\circ}\text{C}$, перепад $+411^{\circ}\text{C}$.

** Параболическая скорость (вторая космическая) — та начальная скорость, которая необходима, чтобы тело преодолело притяжение планеты и ушло в мировое пространство.

земная на высоте 50 км, и барометр показал бы там только 1 мм рт. ст. Поэтому температура кипения воды на Меркурии значительно ниже 100° С.

Многие астрономы неоднократно наблюдали в атмосфере Меркурия светлые облака и темную дымку. Быстрые изменения в их очертаниях и положении указывают на сильные атмосферные течения, которые вызываются значительными колебаниями температур между подсолнечной и ночной сторонами планеты. Эти течения, вероятно, направлены вверху от нагретой стороны к ночной, а внизу в обратном направлении.

Возможно ли существование молекул воды в атмосфере Меркурия и на его поверхности в каком-либо фазовом состоянии (жидком, твердом или газообразном)? Объективными наблюдениями молекул воды на планете пока не обнаружено, но из этого отнюдь нельзя делать вывод, что их там нет. При новых детальнейших исследованиях можно предполагать, что они будут обнаружены.

Конечно, ожидать наличия молекул воды непосредственно в подсолнечной точке нельзя, но на некоторых участках площади планеты вода в форме пара, жидкости и льда весьма вероятна, хотя и в сравнительно незначительном количестве и очень недолговременно. Поступление ее возможно из недр планеты, которые, по мнению французского ученого О. Дольфюса (1966), уже на глубине 10 см имеют постоянную температуру около 30° С.

В центральных частях недр планеты можно встретить породы, сложенные преимущественно силикатами железа, которые, вероятно, содержат также тяжелые радиоактивные элементы.

Бесспорно, что материал, слагающий планету Меркурий, вследствие близости к Солнцу, высокой температуры подсолнечной стороны и более легкого (в 2,5 раза) ускользания в пространство газов должен быть значительно более дегазирован по сравнению с другими планетами. Однако эта дегазация едва ли может быть полной.

Весьма вероятно нахождение в недрах Меркурия воды в жидкой фазе, которая, по-видимому, может изливаться на поверхность в зоне терминатора (полоса смены света и тени), а также на многих участках подсолнечной стороны планеты. Естественно, что на подсолнечной площади с центральным пятном около 500 км в диаметре при выделении из недр паров воды последние под влиянием солнечной радиации будут быстро разлагаться на водород и гидроксил, а гидроксил в свою очередь —

на водород и кислород. И тот и другой будут ускользать в межпланетное пространство, причем первый быстрее второго.

Не только вода, но и некоторые другие вещества, например ртуть, фосфор, даже при нормальном давлении в условиях земной атмосферы с повышением температуры превращаются в пары: ртуть при 357°C , фосфор при 290°C . Многие металлы и металлоиды на центральной части поверхности подсолнечной стороны Меркурия плавятся даже при давлении в 760 мм рт. ст. Например, цинк плавится при 419 , свинец — 327 , кадмий — 321 , висмут — 269 , олово — 232 , сера — 115 , натрий — 96 , калий — 62 , фосфор — 44°C и т. д.

Между тем меркурианское атмосферное давление у поверхности планеты около 1 мм рт. ст. , а не 760 мм рт. ст. , как на Земле. При давлении около 5 мм рт. ст. точка кипения воды снижается на 100° и равна 0°C . Соответственно и другие вещества будут плавиться и испаряться при значительно более низких температурах, чем указанные нами выше для давления в 1 атм на Земле.

Таким образом, на Меркурии в подсолнечной точке, вероятно, можно встретить многие породы в расплавленном состоянии, но только непосредственно на дневной поверхности, а уже несколько глубже возникает зона постоянных температур, независимых от смены дня и ночи. По мере углубления в недра Меркурия температура пород будет возрастать как в результате распада тяжелых радиоактивных веществ, так и по некоторым другим причинам (гравитационное давление, химические реакции с выделением тепла и т. п.).

Едва ли недра Меркурия полностью дегазированы и освобождены от летучих и легкоплавких веществ, так как плотность материала, слагающего массу планеты, почти не отличается от плотности Земли. Если это так, то недра Меркурия могут содержать запасы воды как в обычном для нас жидком состоянии, так и при высоких давлениях и температурах в сверхкритическом состоянии.

В центре Меркурия возможно давление $1,2\text{ млн. атм}$ и температура, во всяком случае, больше 1000°C . Принимая подобное допущение, можно ожидать выплавление легкоплавких веществ и выделение из глубин к наружным оболочкам планеты легколетучих соединений, к которым в первую очередь принадлежат водород, бор, углерод, азот, кислород и т. д. до кальция включительно с атомным весом 40 , а также и их соединения, в том числе

и молекулы воды. Хотя вулканическую деятельность на Меркурии обнаружить пока не удалось, но ее нельзя исключить, а наоборот, вполне можно допустить ее существование.

Воды Меркурия должны обладать значительно большей интенсивностью циркуляции как вследствие меньшей силы тяжести, так и более высокой температуры недр. Выходы подземных вод на поверхность Меркурия в форме источников могут быть лишь периодическими. Они могут существовать на освещенной стороне планеты приблизительно в течение трех земных месяцев или одного меркурианского года — от восхода до захода Солнца. Источники подземных вод могут возникать в зоне утреннего терминатора.

Меркурианское утро длится ни мало ни много полторы-две недели (в земном исчислении), за которые могут возникнуть и излиться подмеркурианские воды. Если в первые минуты они, возможно, могут образовать на поверхности совершенно ничтожную пленку быстро испаряющейся жидкой воды, то в последующее время (примерно через 2 недели) в результате разреженности атмосферы и солнечной радиации вода будет диссоциирована на водород и кислород.

По мере приближения поверхности к зоне вечернего терминатора, т. е. примерно через два с половиной земных месяца, к концу меркурианского дня возможно образование водных паров, стелющихся по поверхности, за счет выходящих на поверхность вод.

С наступлением ночи и быстрым падением температуры на поверхности планеты, особенно в неровностях рельефа, могут образовываться иней, ледяные налеты. Однако эти ледяные образования должны быстро испаряться, и рассчитывать на возникновение толщ льда на Меркурии нет никаких оснований, так же как в зоне утреннего терминатора — на образование крупных скоплений воды.

Таким образом, встречу с водными молекулами вероятнее всего ожидать в полосах светотени, и то лишь в очень незначительных количествах.

В атмосфере Меркурия должна иметь место интенсивная циркуляция не только выделяющихся газов, но и пыли и песка, которые с большей (в 3 раза) легкостью отрываются от поверхности, особенно в более высоких широтах, так как в приэкваториальной полосе породы, вероятно, сплавлены высокой температурой Солнца.

Метеоритная бомбардировка поверхности планеты должна приводить к образованию неровностей рельефа и быть источником раздробленного и пылевого материала.

Пополнение меркурианской атмосферы, по исследованиям Н. А. Козырева, может происходить не только за счет выделения из недр планеты, но и в результате корпускулярной радиации Солнца — «солнечного ветра», посылающего потоки протонов в атмосферу Меркурия, что особенно облегчается из-за отсутствия у данной планеты магнитного поля. Установлена прямая зависимость степени яркости водородных линий в спектрах меркурианской атмосферы от солнечной активности.

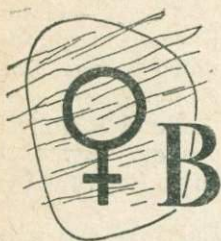
Если на освещенной стороне выделяющиеся газы, как мы уже отмечали (главным образом пары воды), под влиянием солнечной радиации диссоциируют на ионы, то на ночной стороне, вероятно, должны протекать процессы рекомбинации, т. е. исчезновение ионизации и ассоциация радикалов в незаряженные молекулы. Этот процесс сопровождается выделением значительного количества тепла, что способствует повышению температуры на ночной стороне Меркурия на десятки градусов.

По всей вероятности, меркурианская атмосфера состоит из двуокси углерода (около 10%) и азота (около 90%). Полный вес столба газа атмосферы предположительно равен $0,03 \text{ г/см}^2$.

Надо упомянуть о возможном наличии в породах Меркурия связанной (физически и химически) воды. Исключения составляют расплавленные породы на подсолнечной площади планеты. Однако в высоких широтах и приполярных областях Меркурия расплавление твердых пород исключается.

Между Меркурием и Солнцем возможно существование так называемой интрамеркуриальной планеты, авансом названной «Вулкан». Однако эта предполагаемая планета никем ни разу не была обнаружена, так как из-за близости ее к Солнцу, слепящий свет которого сильно затрудняет обнаружение, ее трудно разглядеть.

Наступил ли час истины для Венеры?



Венера — самое яркое светило на нашем небе и самая близкая к нам планета. Если не считать Луну и кометы, то Венера — единственное небесное светило, которое можно видеть при свете Солнца невооруженным глазом. Ночью же она способна давать тень, отличную от солнечной и лунной, так как не имеет полутени, т. е. расплывчатых контуров.

Подобно Меркурию, древние греки называли ее «вечерней звездой» — Геспер, но так как она же появлялась иногда и поутру, то греки, так же как и с Меркурием, решили, что это другое небесное тело и назвали его «утренней звездой», или «приносящей свет», — Фосфором. Пифагор первый отождествил эти две звезды.

Знак Венеры ♀ — зеркало с ручкой — необходимейший атрибут богини красоты.

Венера своей красотой привлекала и греческих, и римских поэтов. Так, в VIII в. до н. э. у Гомера в «Илиаде» в XXII песне имеются такие строки:

... звезда меж звездами в сумраке ночи сияет,
Геспер, который на небе прекрасней всех и светлее.

Римский поэт Вергилий в I в. до н. э. в VIII песне своей знаменитой «Энеиды» посвятил этой замечательной планете такой стих:

Так лучезарный Люцифер, скупавшись в волнах океана,
Более всех светил любимый богиней Венерой,
Светлый свой лик поднимает и гонит ночные туманы.

Планету Венера называют «нашим двойником» потому, что она по размерам, массе, плотности, ускорению силы тяжести больше других небесных тел походит на Землю, будучи только немного меньше ее. Венеру называют также «планетой загадок», и не случайно. Действительно, увидеть поверхность Венеры крайне трудно, так как она окружена мощной толщей плотного облачного покрова,

создающего иллюзию перламутровой поверхности. Толща облаков достигает, вероятно, нескольких километров, поэтому Венеру называли еще «жемчужной планетой», или «перламутровой» (рис. 10).

Венера дальше от Солнца, чем Меркурий, почти в два раза, но почти в полтора раза ближе к Солнцу, чем Земля, поэтому естественно было бы ожидать, что Венера получает от Солнца значительно больше энергии (света и тепла), чем Земля. Но так как отражательная способность наружной поверхности облаков Венеры очень велика (их альbedo 0,77, в то время как альbedo Земли только 0,35) — значительная часть энергии излучается в пространство.

Период обращения Венеры вокруг Солнца (т. е. продолжительность венерианского года) 225 земных суток. Период вращения планеты вокруг своей оси в настоящее время определен в 250 земных суток (сидерический период). Эти данные были получены с помощью радиолокации, независимо друг от друга на семи обсерваториях четырех стран двумя различными методами.

Длительность солнечных суток на Венере в среднем около 118 земных, а венерианский день (от восхода до захода Солнца) длится примерно два земных месяца. За венерианский год, т. е. за один оборот Венеры вокруг Солнца, оно только дважды всходит и заходит. Вращение Венеры вокруг оси происходит в направлении, противоположном по сравнению с другими планетами. Расстояние от Земли до Венеры изменяется в 6,5 раза (от 40 до 260 млн. км).

Очень интенсивно велись исследования состава облачного покрова Венеры, температуры и давления на ее поверх-

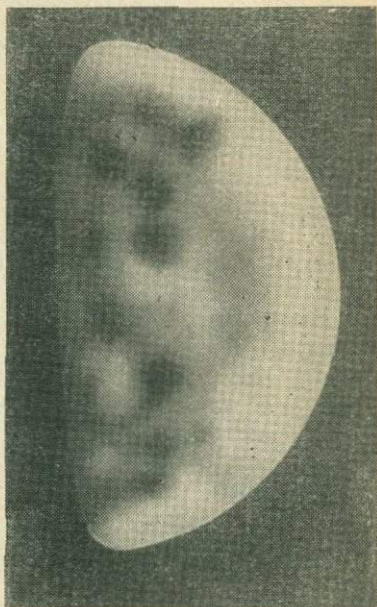


Рис. 10.* Венера.

Планета покрыта постоянным облачным слоем (снимок получен на обсерватории Пик-дю-Миди).

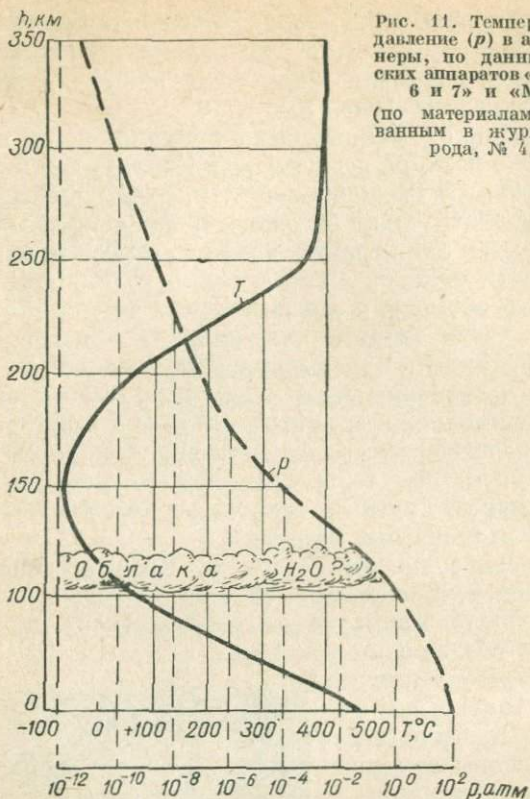


Рис. 11. Температура (T) и давление (p) в атмосфере Венеры, по данным космических аппаратов «Венера-4, 5, 6 и 7» и «Маринер-5» (по материалам, опубликованным в журнале «Природа», № 4, 1971).

ности. Результаты исследований весьма разноречивы. Так, например, оценки температуры твердой поверхности планеты колебались от -40 до $+720^{\circ}\text{C}$, величина атмосферного давления у поверхности оценивалась от 1 до 200 атм, а состав и строение атмосферы и облачного покрова имели разнообразные модели.

Высказывались мнения, что атмосфера Венеры состоит из азота или недокиси углерода (C_3O_2), углеводородов или углекислого газа, формальдегида или воды в форме плавающих капелек или кристалликов льда, или из различных сочетаний перечисленных составляющих.

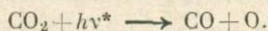
Но вот, наконец, в 1967 г. наступил «час истины для Венеры». Осенью этого года Земля и Венера встретились друг с другом на наиболее близком расстоянии, и 18 ноября 1967 г. советская автоматическая межпланетная станция (АМС) «Венера-4» вошла в атмосферу планеты Венера.

Через сутки после советской АМС «Венера-4» американский аппарат «Маринер-5» провел исследования атмосферы Венеры с помощью радиопросвечивания, пролетев на расстоянии около 4 тыс. км от Венеры.

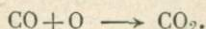
Суммируя накопленный багаж наблюдений, полученных до мая 1969 г. включительно, можно прийти к следующим выводам (рис. 11). В спектре облачного покрова атмосферы Венеры были обнаружены следующие компоненты: CO_2 , O_2 , N_2 , H_2O , HCl , HF , H_2S , SO_2 , CH_4 , CH_3Cl , CH_3F , C_2H_2 , HCN . Почти все эти газы присутствуют в спектрах атмосфер других планет земной группы.

В спектре атмосфер Венеры помимо CO_2 были обнаружены изотопические полосы углерода и кислорода, свидетельствующие о присутствии кроме $\text{C}^{12}\text{O}_2^{16}$ также и $\text{C}^{13}\text{O}_2^{16}$, $\text{C}^{12}\text{O}^{16}\text{O}^{18}$ и $\text{C}^{13}\text{O}^{16}\text{O}^{18}$, причем относительное содержание изотопов углерода и кислорода примерно такое же, как и для Земли.

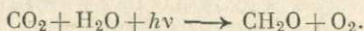
Кроме того, в спектре атмосферы были обнаружены полосы поглощения окиси углерода (CO), которая образуется в результате фотодиссоциации CO_2 :



Может протекать и рекомбинация:



Под действием ультрафиолета не исключена возможность реакции образования формальдегида (CH_2O):



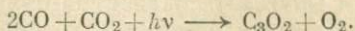
Еще в 1961 г. Н. А. Козыревым было установлено свечение слоев неосвещенной стороны Венеры той же яркости, что и освещенность полной Луны на Земле. Он связывал это явление с окислением углеводов формальдегида, с выделением свободной энергии и эффектом холодного горения.

Н. А. Козыревым в спектре Венеры были обнаружены эмиссионные полосы положительно заряженных молекул азота (N_2^+), характерные для спектра полярных сияний. Изучив спектры ночной стороны Венеры, полученные Н. А. Козыревым, Б. Урнер обнаружил полосы не только

* $h\nu$ — энергия кванта; ν — частота.

азота, но и кислорода как нейтрального, так и ионизированного. Молекулярный кислород в атмосфере Венеры был установлен В. К. Прокофьевым и Н. Н. Петровым.

Не исключена также возможность образования из окиси и двуокиси углерода под влиянием солнечного излучения недоокиси углерода в форме мономера:



Мономер недоокиси углерода может переходить в полимер в виде желтого порошка того же состава (C_3O_2). Возможно, присутствием этого полимера и объясняется наблюдающаяся запыленность атмосферы Венеры и ее желтый цвет, хотя Пламмер и Карсон (США) это отрицают.

Прежние исследования поляризации Венеры показали, что облака, густым покровом окутывающие планету, состоят либо из небольших капелек воды (диаметром около 2 мк), либо из мелких устойчивых ледяных кристалликов. О. Долльфус определил содержание воды $0,7 \cdot 10^{-2}$ г на каждый квадратный сантиметр площади планеты.

По повторным измерениям Ловелловской обсерватории было выявлено, что Южный полюс Венеры, как и Земли, холоднее Северного.

Радиолокационное излучение поверхности Венеры позволило определить диэлектрическую постоянную планеты, равную 3,8—7, что говорит против наличия там больших водных бассейнов, так как для воды эта величина близка к 80. Скорее всего, поверхность Венеры сухая, скалистая или песчаная.

Загадочна природа полярных венерианских шапок круговых областей возле полюсов, которые можно обнаружить иногда через зеленый фильтр.

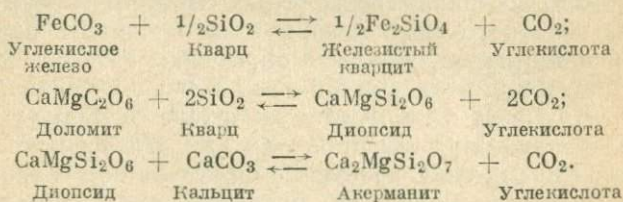
5 и 10 января 1969 г. стартовали еще две советские АМС — «Венера-5» и «Венера-6», вошедшие в облачный слой планеты 16 и 17 мая (т. е. через четыре с небольшим месяца полета) на ее ночной стороне на расстоянии около 2,7 тыс. км от терминатора (т. е. границы дня и ночи). Обработка новых измерений, полученных при параллельном спуске в атмосферу Венеры двух аппаратов, позволила уточнить измерения, сделанные «Венерой-4». Результаты были опубликованы в газете «Правда» (от 4 июня 1969 г., № 155).

Пробы атмосферных газовых смесей были взяты четырежды (по две пробы каждой АМС) только в верхних (наружных) слоях атмосферы: при давлении около 0,6 атм и температуре $+25^\circ \text{C}$, при давлении около 5 атм и температуре $+150^\circ \text{C}$, при давлении около 1 атм и температуре

+60° С и, наконец, при давлении 10 атм и температуре +225° С. К сожалению, в опубликованном сообщении не было указано, к какой из проб относятся приводимые ниже данные газоанализаторов, %: CO₂—93—97; N₂ (с инертными газами) — 2—5; O₂ — менее 0,4. Кроме того, было установлено, что в атмосфере Венеры при давлении около 0,6 атм и температуре +25° С содержится 4—11 мг/л водяных паров. Насыщение водяных паров, равное 11 мг/л для атмосферы у поверхности Земли, отвечает температуре около 13° С, а при 25° С и нормальном давлении (в 1 атм) оно увеличится до 24 мг/л. Таким образом, количество водяных паров в верхних слоях атмосферы планеты хотя и не достигает полного насыщения, что очень часто наблюдается и в земной атмосфере, однако не может быть признано незначительным.

15 декабря 1970 г. на поверхность планеты Венера была впервые произведена посадка советской АМС «Венера-7», установившей, что в месте посадки температура составила 475 ± 20° С, а давление — 90 ± 15 атм.

Какими же процессами можно было бы объяснить, хотя бы гипотетически, столь значительное количество углекислоты в атмосфере Венеры, если, действительно, ее концентрация достигает 93—97%? Был предложен ряд реакций выделения углекислоты из пород Венеры:

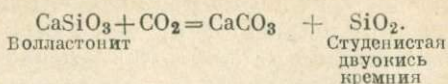


Учитывая возможность интенсивной вулканической деятельности, вероятным мощным источником углекислоты в атмосфере Венеры должны быть по аналогии с земными венерианские недра.

В 1970 г. А. П. Виноградовым с соавторами высказано предположение, что в атмосфере планеты допускается некоторое равновесное отношение между двуокисью углерода и двуокисью кремния. Не исключена возможность сплошного заполнения атмосферы до твердой поверхности Венеры облачным покровом, содержащим парящие капли студенистой* двуокиси кремния как результата

* Возможно существование мельчайших частиц двуокиси кремния в твердой фазе. Синоним волластонита — «дощатый шпат».

разложения волластонита при температурах более 350° С и давлениях около 50 атм:



Чем обуславливается высокая температура на поверхности Венеры — солнечным нагревом или внутренним теплом планеты? Если верно последнее предположение, то более глубокие недра планеты должны иметь еще более высокую температуру, чем поверхность. Рост температуры на единицу глубины должен быть столь высок, что уже на глубине 2 км мы должны были бы встретиться с температурами солнечной фотосферы, что явно абсурдно.

Остается солнечное нагревание. В этом случае можно допустить, что солнечная радиация, поглощаемая поверхностью планеты из-за непрозрачности атмосферы для инфракрасного излучения, разогревает ее до сотен градусов.

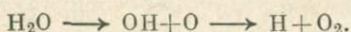
Венерианский облачный слой не имеет резко очерченной внешней границы, и его концентрация убывает с высотой постепенно. Можно предполагать, что атмосфера Венеры неоднородна и удельный вес отдельных слоев уменьшается от более тяжелой углекислоты (1,53) через азот (0,97) к парам воды (0,62). Поэтому в наружном поясе облачного слоя Венеры можно ожидать большего содержания паров, чем было определено автоматическими станциями при давлении 0,6 атм. В равной мере гипотеза Н. А. Козырева о наличии в атмосфере Венеры углеводородов отнюдь не снимается, так как углеводороды газоанализаторами АМС вообще не определялись. Турбулентные процессы могут не препятствовать химическому расслоению мощной и тяжелой атмосферы Венеры.

В атмосфере Венеры вероятен круговорот воды, выпадающей из ее облаков в форме дождя, который, не достигнув поверхности, испаряется, поднимается и в холодных слоях вновь конденсируется до мельчайших, парящих в атмосфере капелек облачного слоя, после чего вода вновь выпадает в форме дождя.

Весьма характерна, несмотря на медленную смену дня и ночи, сравнительная стабильность температур на поверхности планеты. Вероятно, плотное и толстое «одеяло» облаков создает надежную термоизоляцию от излучения тепла в пространство. Кроме того, есть основания предполагать наличие направленного ветра, скорость

которого 80 м/сек. На это указывает противоречие между периодом вращения Венеры по данным радиолокации и по скорости смещения темных пятен, измеряемое несколькими часами.

Если допустить, что отношения элементов углерода, водорода, азота и кислорода в газах, выходящих из недр Венеры, те же, что и на Земле, тогда при температуре в приповерхностных слоях атмосферы около 430°С должны содержаться в состоянии равновесия помимо CO_2 также CH_4 и CO , а свободный O_2 должен практически отсутствовать. Поступающая в результате выделения из венерианских недр вода вследствие высокой температуры будет быстро подниматься вверх и диссоциировать под влиянием ультрафиолетового излучения Солнца:



Водород будет улетучиваться в пространство, а кислород использоваться в реакциях превращения CH_4 и CO в CO_2 . Расулом подсчитано, что приток воды в результате выделения ее из недр в атмосферу Венеры таков же, что и скорость диссоциации воды, диссипации водорода и связывание кислорода в двуокись углерода.

Радиолокационными наблюдениями американских ученых установлено существование на поверхности Венеры двух значительных цепей: меридиональной (протяжением около 3900 км) и еще более длинной широтной, а также больших горных цирков. Большая часть северного полушария гористая, южное полушарие относительно ровное. Поверхность Венеры состоит из более плотных веществ, чем лунная. Весьма вероятно, что на Венере еще продолжается интенсивная тектоническая и вулканическая деятельность.

По данным американского ученого Люиса (Lewis), поддерживаемого Гуди (Goody), многие летучие вещества могут существовать на поверхности Венеры при тех температурах и давлениях, которые там предполагаются, хотя это может показаться странным и совершенно несоответствующим земным представлениям.

Есть все основания предполагать по аналогии с другими планетами наличие в породах Венеры воды. Учитывая высокое атмосферное давление на поверхности планеты, следует ожидать, что выделение жидкостей и газов из глубинных пород Венеры (дефлюидизация) по сравнению с Землей будет затруднено, и количество воды под поверхностью на глубине более обильно.

Говоря о планете Венера, нельзя не вспомнить тот крупный вклад, который сделал Михайло Ломоносов (1711—1765), впервые открывший облачную атмосферу Венеры. Однако он полагал, что на Венере имеется высокоразвитая жизнь. Вот что он писал по этому поводу: «Читая здесь в великой атмосфере около помянутой планеты, скажет кто: подумать де можно, что в ней потому и пары восходят, стгущаются облака, падают дожди, протекают ручьи, собираются в реки, реки впадают в моря; произрастают везде разные прозябания, или питаются животные».

Что же можем мы сказать после более чем двухсотлетнего изучения этой планеты? Существует ли на ней жизнь или нет? К сожалению, определенного ответа ни отрицательного, ни положительного пока дать еще нельзя. Можно лишь утверждать, что жизнь на твердой поверхности Венеры в приэкваториальных зонах и в низких широтах из-за высоких температур, в нашем понимании, едва ли возможна. Но в районах, примыкающих к обоим полюсам планеты, а также в ее атмосфере возможно существование живых организмов, хотя пока никаких доказательств этого у нас нет.

В. Либб (1968) и Х. Моровитц (1967) допускают существование в облачном слое и несколько ниже его живых организмов в форме небольших (до 4 см в диаметре) парящих пузырей, наполненных водородом, а также возможность жизни на границе полярных венерианских ледяных шапок, если последние вообще существуют. Вода для жизни может быть получена из венерианской атмосферы, а пищей может служить минеральная пыль, поступающая с поверхности планеты.



Вес морской и океанской воды должен быть равен весу суши, возвышающейся над уровнем геоида.

В. И. Вернадский, 1935

Геологу нужна вся Земля.

А. П. Карпинский

До недавнего времени приходилось слышать, да иногда и сейчас приходится, что наша планета представляет собой шар. Глобусы, действительно, имеют форму шара, и в первом грубом приближении это до некоторой степени верно. Но лишь до некоторой степени. Впервые о шаровидной форме Земли, по-видимому, высказал мысль Пифагор, живший около 2,5 тысяч лет назад. Весьма возможно, что эта мысль приходила в голову людям других, еще более ранних культур. Аристотель и Архимед приводили всем нам теперь хорошо известные доказательства шаровидности Земли, а александрийский библиотекарь Эратосфен, живший за два столетия до нашей эры, с исключительной для своего времени точностью примерно до 0,5% определил, что земной радиус равен 6406 км. Только через 1800 лет ученым удалось добиться большей точности определения.

В действительности форма нашей планеты представляет не правильный шар, а трехосный эллипсоид. Что это значит? Представим себе мяч, имеющий форму правильного шара, сделанный из очень эластичной резины, в которую вплавлены железные опилки. Если такой шар установить на оси и придать ему достаточную скорость вращения, то в результате возникших центробежных сил экваториальный диаметр шара увеличится, а диаметр на полюсах уменьшится. Шар как бы сплющится у полюсов и расширится у экватора. Он перестанет быть шаром, а превратится в эллипсоид, но пока в одноосный эллипсоид вращения.

Теперь, продолжая вращение шара, поднесем к экватору на близкое расстояние достаточно сильный магнит. Что произойдет с линией экватора, если рассматривать ее в плоскости экватора? Очевидно, она превратится в эллипс, так как магнит станет притягивать впаянные в резину железные опилки. Диаметр нашего мяча по линии магнита в плоскости экватора будет еще больше, а перпендикулярный диаметр — меньше. Таким образом, мы

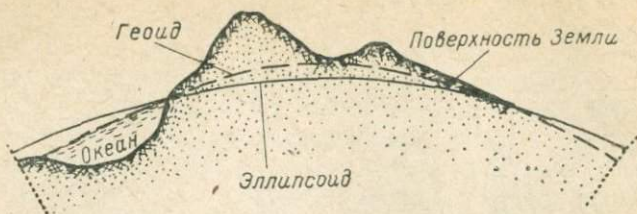


Рис. 12. Поверхность Земли, линии эллипсоида и геоида.

получили три разные оси: 1) самая длинная, проходящая в плоскости экватора через магнит; 2) средняя, проходящая также в плоскости экватора, перпендикулярная к линии, идущей через магнит; 3) самая короткая, проходящая через полюса и служащая осью вращения.

Перенесем этот пример на нашу планету. Роль магнита выполняют Луна и Солнце, т. е. магнитное притяжение заменяется гравитационным. Причем Луна притягивает Землю в 2,2 раза значительнее, нежели Солнце, так как хотя последнее по своей массе в 27 млн. раз больше Луны, но зато Луна в 400 раз ближе к Земле, чем Солнце (масса Земли меньше массы Солнца в 332 тыс. раз, а больше массы Луны в 81 раз).

Вероятно, читателю стало ясно, почему при сечении плоскости экватора мы получаем эллипсоидальную форму Земли, как и при сечении в плоскости, проходящей через полюса. Отсюда форма Земли в виде трехосного эллипсоида, причем разность экваториальных диаметров около 400 м, а разность полярного и экваториального диаметров около 43 км. Для представления взаимоотношений между понятиями «поверхность Земли», «эллипсоид» и «геоид» приводим рис. 12.

Планета Земля имеет несколько геосфер: атмосферу, литосферу, мантию (барисфера), ядро и субъядро, или «ядрышко». Мощности и плотности этих геосфер, а также внутреннее строение Земли показаны на рис. 13 и 14. Если углубляться вниз от дневной поверхности, то сперва залегает литосфера (земная кора) средней мощностью 17 км (под океанами около 5 км, а под континентами предельно до 70 км). Помимо указанных геосфер выделяются еще три — гидросфера, гидрохлоросфера и биосфера. Эти сферы проникают как в атмосферу, так и в литосферу, причем гидросфера выше и глубже биосферы.

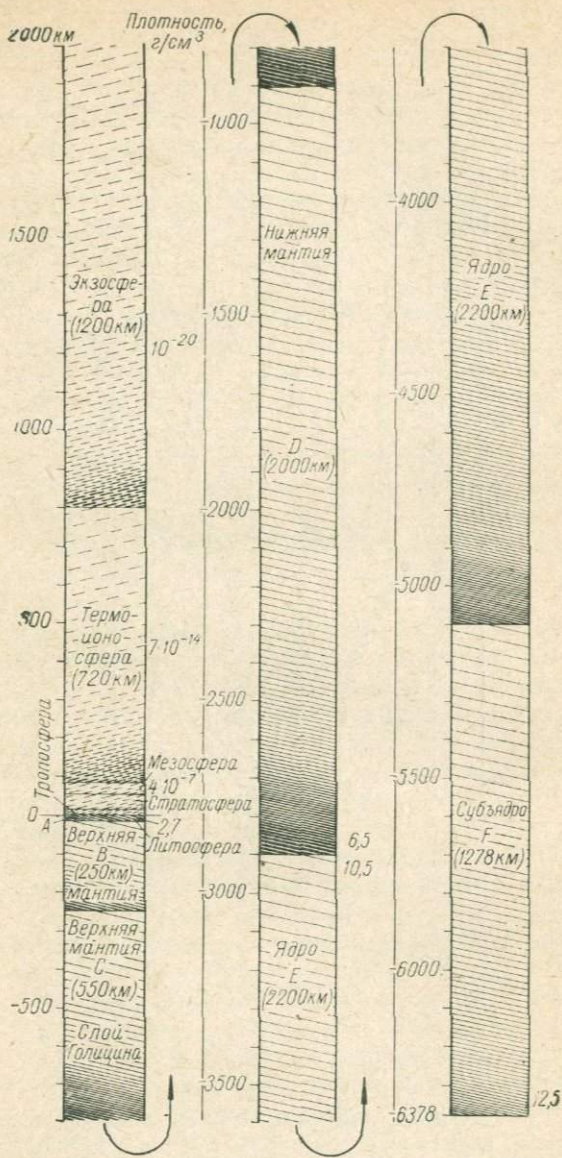


Рис. 13. Мощности и плотности геосфер Земли.

0 — дневная поверхность Земли, выше — тропосфера мощностью около 12 км, далее — стратосфера мощностью приблизительно 43 км, и еще выше — мезосфера мощностью около 25 км. Для сравнения приводим плотность межзвездного газа, которая равна примерно $3 \cdot 10^{-24}$ г/см³.

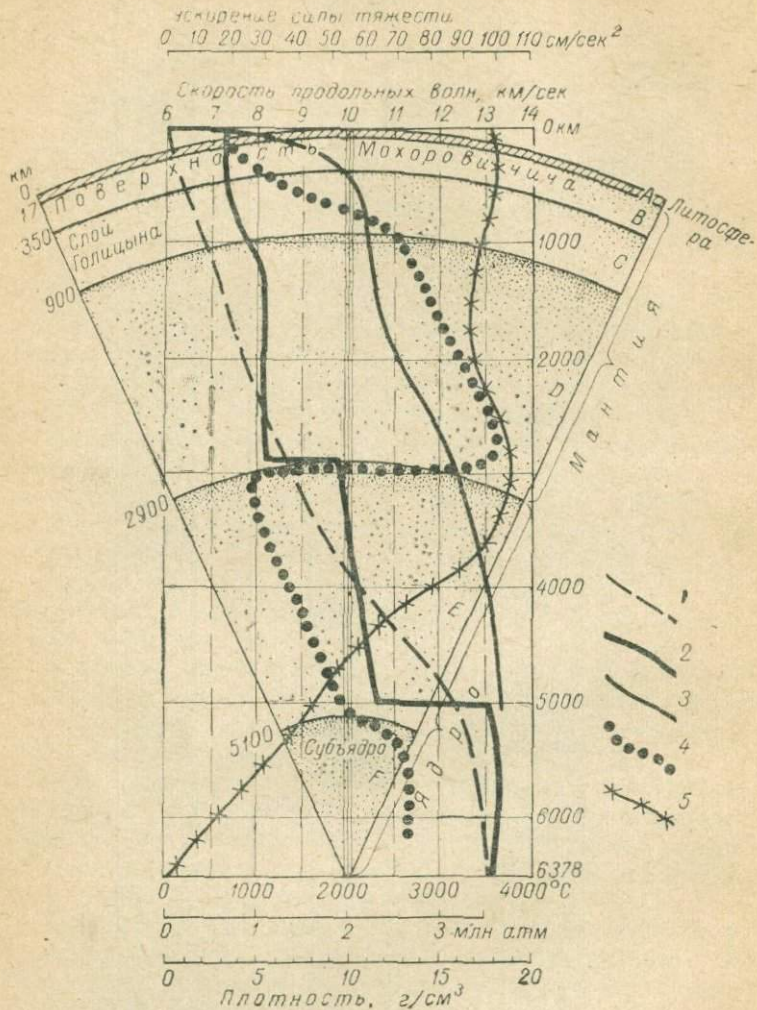


Рис. 14. Внутреннее строение Земли.

1 — давление, млн. атм; 2 — плотность, г/см³; 3 — температура, °С; 4 — скорость прохождения продольных волн, км/сек; 5 — ускорение силы тяжести, см/сек².

Как распределяется масса Земли? Если массу Земли принять за единицу, то масса литосферы равна 0,004, мантии — 0,681, ядра — 0,315. Соотношения масс лито-, гидро-, атмо- и биосферы наглядно можно представить себе следующим образом. Если литосферу по весу принять за килограммы, то гидросфера будет весить около полукilограмма, атмосфера — двухкопеечную монету, а биосфера — всего только почтовую марку. Но работа, производимая живым веществом биосферы за время ее существования, огромна и превышает массу литосферы*.

Нами уже несколько раз упоминались два термина без раскрытия тех понятий, которые в них вложены. Это «литосфера» и «земная кора». Оба эти термина — синонимы, т. е. означают одно и то же, при этом «земная кора» — наиболее употребительный термин, а «литосфера» точнее выражает суть понятия и универсальнее, так как может быть применим и для других планет, хотя само понятие этих двух терминов-синонимов не может считаться твердо установленным.

Под литосферой обычно понимается наружная оболочка Земли, ограниченная внизу так называемой поверхностью Мохоровичича (см. ниже).

В начале книги несколько слов было сказано о способах познания небесных тел. Так же кратко мы познакомим читателя со способами познания земных недр.

Методы изучения приповерхностных форм и пород относительно просты и понятны, так как предметы изучения нам доступны, а вот как изучать породы и условия, в которых они находятся на глубине, — это требует разъяснения.

Породы, находящиеся на небольших глубинах, изучаются проходкой выработок начиная от совершенно мелких «закопаш» (ям глубиной 0,5—1 м) и шурфов (колодцев) до сравнительно глубоких (до 1—4 км) шахт.

Породы с больших глубин изучают с помощью бурения скважин. Наиболее глубокой является скважина, пробуренная в США в 1968 г. до глубины 7823 м, но что такое 8 км по сравнению с радиусом нашей планеты, равным 6378 км? Мы же хотим узнать строение всей планеты на всю ее мощность. В этом деле нам может помочь только

* Это сравнение возможно, так как масса обладает энергией, что вытекает из соотношения $m = \frac{E}{c^2}$, где m — масса; E — энергия; c — скорость света. Работы измеряется в тех же единицах, что и энергия (эрг, кг·м).

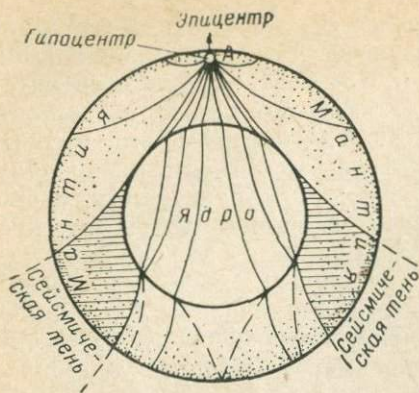


Рис. 15. Схема распространения сейсмических волн из точки А (гипоцентр — очаг землетрясения).

геофизика, которая имеет много различных способов проникать через толщу нашей планеты. Главным из этих способов является сейсмический.

Сейсмические волны подчиняются законам, во многом сходным с законами распространения световых волн. Встречая среду с иными свойствами плотности, сжимаемости, твердости, они так же, как и световые волны, преломляются и отражаются (рис. 15). Изучая скорости прохождения сейсмических волн, геофизики могут составить представление о внутреннем строении Земли. Кроме сейсмического метода в геофизике существует очень большое число и других способов обнаруживать неоднородности пород и отличать их друг от друга без бурения скважин и получения образцов. Но на них мы останавливаться не будем.

Твердое тело Земли делится на ряд подчиненных оболочек. Так, литосфера может быть разделена на три оболочки: 1) осадочная толща средней мощностью 1 км; 2) толща гранитных пород средней мощностью 15 км; 3) толща базальтовых пород средней мощностью 20 км. Контакт двух последних толщ носит название границы Конрада (К), а контакт базальтов с нижележащей мантией называют поверхностью Мохоровичича, по имени известного югославского геофизика, впервые установившего ее в начале нашего столетия с помощью отражения сейсмических волн.

Такое деление литосферы и такие значения мощностей пригодны лишь в отношении к континентам (материкам), так как гранитная толща под океанами и некоторыми

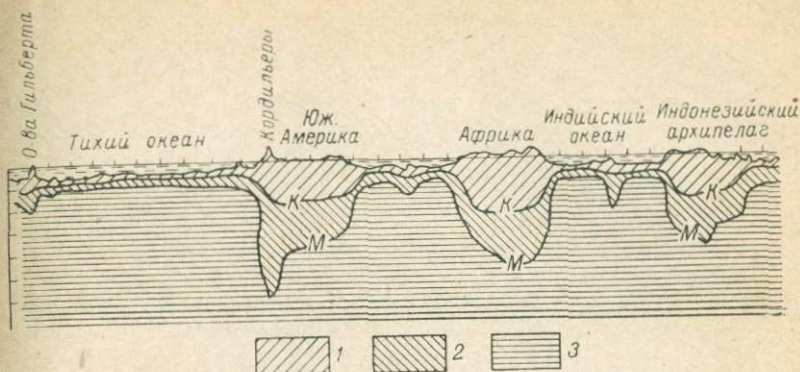


Рис. 16. Схематический разрез литосферы и верхней мантии по экватору Земли (по Р. М. Деменичкой, 1967).

1 — осадочная толща и гранитный слой; 2 — базальтовый слой; 3 — верхняя мантия; К — поверхность Конрада; М — поверхность Мохоровичича.

морями отсутствует совершенно, и в этом также проявляется дисимметрия не только поверхности нашей планеты, но и строения ее литосферы, ее недр (рис. 16).

Средняя мощность континентальной литосферы около 35 км, океанической около 5 км, а всей литосферы около 17 км.

Толща литосферы подстилается самой мощной земной оболочкой, называемой мантией. Ее мощность 2883 км, что в 170 раз больше средней мощности литосферы.

На рис. 14 дан разрез земного сектора с кривой скорости прохождения продольных волн. Эта кривая наглядно показывает, как отбивались границы между отдельными оболочками: мантия—ядро, ядро—субъядро, а также отличающиеся по скорости прохождения сейсмических волн слои: А (литосфера); В, С (слой Голицына), образующие верхнюю мантию, и слой D (нижняя мантия); слои E и F, находящиеся внутри ядра (слой F образует субъядро).

На том же рисунке показан рост давления с глубиной. В центре Земли давление достигает гигантских размеров — 3,5 млн. атм. Таких величин не было получено ни в одной лаборатории высоких давлений*. Характерно, что температура растет не пропорционально глубине. Рост температуры до слоя Голицына (около 250—900 км глубины)

* Максимально достигнутые в лаборатории давления не превышают 500 000 атм.



Рис. 17. Модель наружных оболочек Земли, полученная на электронной машине под руководством доктора Ф. Пресса (США, 1968).

происходит сравнительно быстро, далее рост резко замедляется. Сколько-нибудь вероятные данные о температуре в субъядре и центре Земли отсутствуют, но предположительно они едва ли превышают $3000\text{--}4000^\circ\text{C}$.

Как давление, так и температура с ростом глубины увеличиваются. Ускорение силы тяжести ведет себя диаметрально противоположно, хотя и далеко не равномерно, что связано отчасти с плотностью пород. Последняя возрастает скачкообразно, особенно на границе мантия—ядро (глубина 2900 км) и вблизи границы субъядра (около 5000 км).

В 1968 г. в США под руководством доктора Ф. Пресса в электронную машину была введена программа на оценку 5 млн. различных моделей Земли. Из этого громадного количества моделей лишь 3 были признаны правдоподобными. По наиболее вероятной из трех наружные оболочки Земли представляются такими, как изображено на рис. 17. Радиус Земли оказался на 122 км больше прежнего — 6500 км . Плотность ядра получена большей — $13,5\text{ г/см}^3$ (раньше считали ее равной $12,6\text{ г/см}^3$). Предположения о внешнем ядре совпали с существующими представлениями о том, что оно жидкое. Его состав отождествляется со сплавом железа и кремния (последнего около 20%). Внутреннее ядро (субъядро) — твердое, состоит, по-видимому, из сплава железа и никеля (последнего около 35%).

На рис. 18 показано равновесие толщ материков и океанов. Оно учитывает мощности и плотность пород, слагающих континентальную и океаническую литосферы с гидросферой и частью мантии.

Представление о наружных оболочках Земли можно получить, ознакомившись с двумя моделями, приведенными на рис. 19.

В целом Земля — твердое тело. Читатель может возразить: из земных недр через жерла вулканов изливается жидкая раскаленная лава, отсюда напрашивается вывод о жидком расплавленном состоянии внутренних частей Земли. Такой вывод раньше делался, но, как оказалось, он был неверен.

Жидкая расплавленная лава совсем не характерна для большей части вещества, слагающего массу нашей планеты. Расплавленный материал (жидкая и вязкая лава) в недрах Земли встречается редко, лишь в отдельных местах, образующих очаги. Советский геолог проф. П. Г. Горшков впервые в мировой вулканологии определил глубину залегания и размеры одного из таких очагов на самом высоком (4745 м) и самом активном вулкане Старого Света — Ключевской сопке (п-ов Камчатка). Такие уникальные замеры были сделаны с помощью

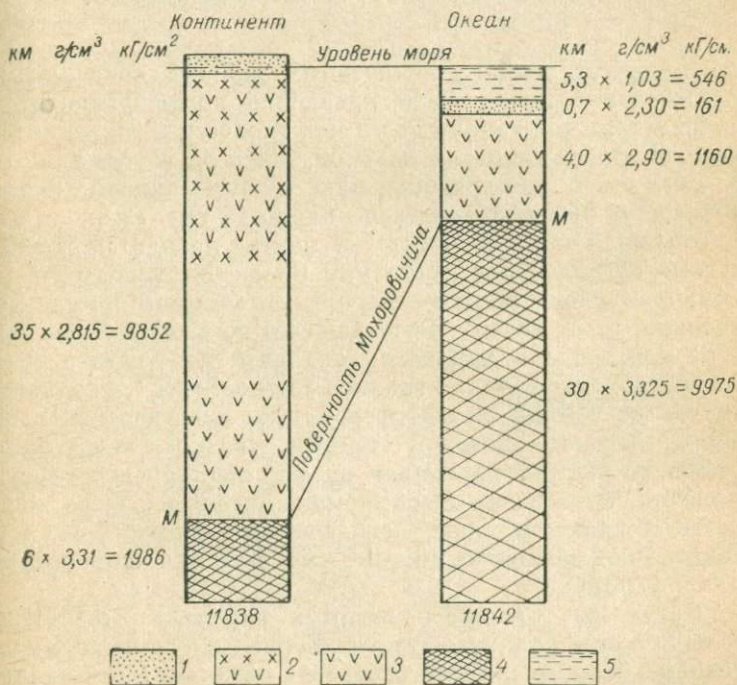


Рис. 18. Гравитационное равновесие континентального и океанического типа литосферы (по Хессу, 1955).

1 — осадочные породы; 2 — граниты; 3 — базальты; 4 — мантия; 5 — океан.

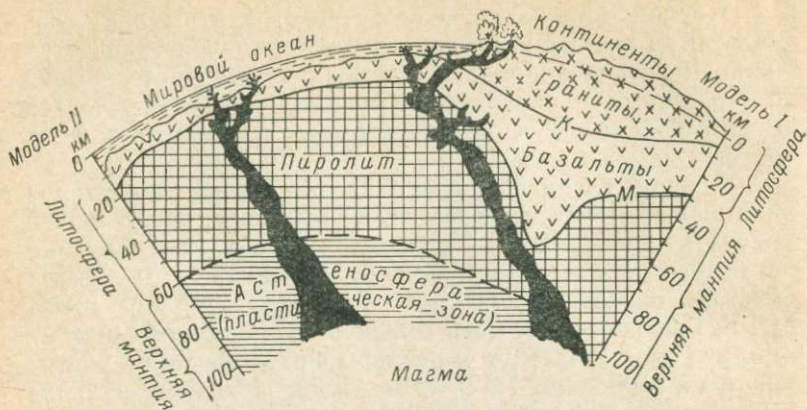


Рис. 19. Схема двух моделей литосферы — верхней мантии (составлена В. Ф. Дерпгольц с использованием данных Д. Андерсена, В. Беллуса, Б. Гутенберга, В. Магницкого, А. Рингвуда и др.). К — граница Конрада, М — поверхность Мохоровичича.

сейсмических волн, для которых жидкий очаг магмы представлял экран, задерживающий прохождение этих волн. Волны проходили над и под экраном, а также возле него. Резервуар жидкой лавы оказался на глубине около 65 км, имел чечевицеобразную форму длиной около 30 км, при общем объеме лавы около 15 тыс. км³.

Большая часть литосферы и мантии находится в «жестком», или «твердом», состоянии. Слова «жесткий» и «твердый» поставлены нами в кавычки, так как они применены условно, и вот почему. Прежде всего по второй приведенной нами модели наружных оболочек на глубине 60—90 км проходит верхняя граница астеносферы*, уходящая вглубь до 350 км. Астеносфера — это пластическая зона пород, вещество которой «текуче», «вязко», ввиду чего возможно как бы «плавание» на нем жесткой литосферы. Конечно, «текучесть» здесь понимается не в смысле жидкости и вязкости лавы, ведь вещество астеносферы находится под давлением 16—100 тыс. атм при температуре 1000—1700° С.

Когда мы говорим о жестких породах в геологии, то надо всегда понимать это в зависимости от приводящих условий. Например, если построить очень высокую стальную колонну, то, перейдя некий предел высоты, основание

* Астенос — по-гречески значит слабый, вялый.

такой колонны потечет, так как оно под давлением делается пластичным. Конечно, мы взяли очень твердое вещество — сталь, и применили к нему высокое давление. Но если взять такие хрупкие вещества, как лед или вар, разбивающиеся подобно стеклу с раковистым изломом, то они под давлением собственного небольшого веса во времени также текучи. Автору пришлось наблюдать такой опыт.

В физическом институте при Петроградском (ныне Ленинградском) университете в 1917 г. на специально сделанную из гипса горку высотой 1 м был положен правильный куб из вара. Длина наклонной плоскости горки была примерно 1,5 м. За 7 лет вар заполнил весь скат горки до основания, несмотря на то, что вар не нагревали (окна помещения выходили на север, зимой оно не отапливалось). При этом вар сохранял первоначальную хрупкость и жесткость.

То же самое происходит и со льдом на горных склонах. Ледник течет, но лед не тает. Но бывает и наоборот, жидкие тела, например вода, могут вести себя, как хрупкое тело. При быстром ударе стержнем по струе в жидкости появляется хрупкий излом (рис. 20).

Таким образом, большое значение при определении жесткости, твердости вещества имеет четвертое измерение — время. При кратковременности влияющих сил жидкость может вести себя, как твердое жесткое, хрупкое тело. При длительных воздействиях твердые, жесткие и хрупкие тела ведут себя, как жидкие.

Чтобы понять, что представляет собой вещество, слагающее нашу планету, необходимо учитывать, что вещества вообще могут находиться не только в трех агрегатных (фазовых) состояниях, т. е. быть твердыми,

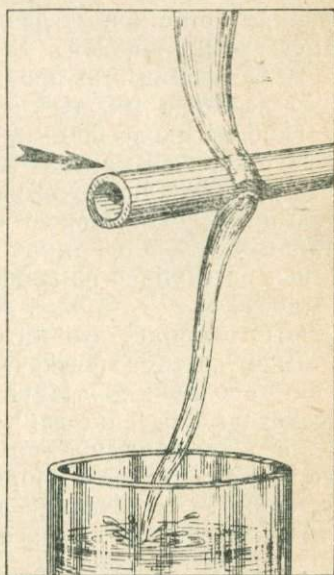


Рис. 20. Хрупкий излом струи жидкости при ударе стержнем
(по М. Корнфельду, 1951).

жидкими и газообразными, но и еще в ряде других состояний:

1) плазменном — газ, состоящий из свободных электронов и ионов, т. е. электрически заряженных частиц. Плазма в отличие от обычного газа удерживается не твердой стенкой, а магнитным полем, например северные сияния, разряды молнии;

2) нейтронном — вещество, находящееся при гигантских давлениях (на Земле отсутствующих), когда электроны, соединяясь с протонами, превращаются в нейтроны. Плотность этого состояния поистине грандиозна: 1 см^3 такой материи весит 1 000 000 т.

Мы не будем останавливаться на других агрегатных состояниях вещества, их открыто еще несколько, и неизвестно, какое количество пока неведомых состояний.

Все это мы говорим к тому, что вещество, находящееся в глубоких недрах Земли, никак нельзя сопоставлять с веществом, находящимся вблизи поверхности. Геофизики считают, что лишь внешнее ядро Земли (кроме субъядра) находится в «жидком» состоянии.

Но возьмем простую воду и попробуем ее вообразить в условиях внешнего ядра, где давление составляет от 1,5 до 3 млн. атм. Такая вода будет иметь плотность около 10 г/см^3 , т. е. ее плотность в полтора раза больше плотности стали и почти в четыре раза больше плотности кремния при обычных давлениях. Вот и представьте себе такую воду «жидкой».

В Австралии был произведен эксперимент со сжатием воды всего до 160 тыс. атм. Такое давление возможно на глубине около 600 км, т. е. соответствует слою Голицына в верхней мантии. При этом плотность воды оказалась равной 2, температура 1300°C , а вода обладала свойствами кислоты. Можно себе представить, какие резко отличные свойства приобретаются веществом, находящимся на глубине порядка 5 тыс. км при давлении более 3 млн. атм.

Мы говорили, что литосфера делится на 3 оболочки для континентов (осадочная, гранитная и базальтовая) и на 2 оболочки для Мирового океана и некоторых морей (осадочная и базальтовая). Что касается осадочной толщи, то ее происхождение не вызывает особых сомнений — она вторична, т. е. образовалась в результате разрушения, измельчения, переработки пород гранитной или базальтовой толщ, а также биохимическим путем в результате жизнедеятельности различных организмов.

Совсем другое дело — происхождение самих гранитных и базальтовых пород. Еще в середине 30-х годов В. И. Вернадским была высказана мысль, что по крайней мере часть гранитных пород принадлежит к осадочным, подвергшимся метаморфизации под влиянием высоких температур, давлений и химически активных веществ, идущих из глубины. Метаморфизм приводит к перекристаллизации пород с образованием новых структур и минералов.

В последнее время многие исследователи приходят к выводу, что не только гранитные, но даже и базальтовые толщи, слагающие нижнюю часть континентальной литосферы и всю океаническую литосферу (кроме осадочных образований последнего полумиллиарда лет), принадлежат к метаморфизованным осадочным породам. Исключения представляют явно излившиеся магматические образования.

Вода наземной атмосферы

Больше чем на тысячу километров от уровня геоида вверх простирается область газов, переходящая во все более и более разреженный физический вакуум, еще подчиненный суточному вращению планеты, сливаясь с космическим пространством.

В. И. Вернадский, 1935

Для того чтобы понять, что есть планета Земля, необходимо понять, что есть «не Земля», т. е. ясно отделить наш дом от его окружения — межпланетного пространства, называемого космосом. Часто говорят: в космос запущен спутник или космонавт вышел в космическое пространство, совершенно не задумываясь, а где же начинается (или кончается) космическое пространство? Конечно, все: и наша Земля, и наши города, и комнаты, в которых мы проживаем, — находится, с точки зрения космополита, проживающего на другой планете, в космосе. Но, с точки зрения жителей Земли, такое понимание нас не устраивает. Совершенно очевидно, что о самолете, летящем на высоте 20 км над уровнем моря, мы не можем сказать, что он летит в космосе.

Как известно, наша Земля окружена газовой оболочкой, называемой атмосферой. Плотность этой оболочки в разных местах различна, она различна даже в одном и том же месте, но в разное время. Под плотностью атмосферы, представляющей собой смесь различных газов, понимается

количество материальных частиц, содержащихся в определенном объеме этой газовой смеси, включая газовые молекулы, атомы, ионы, мельчайшие пылинки и т. д.

Межпланетное пространство (космос) содержит такое количество материальных частиц, что его средняя плотность составляет $3 \cdot 10^{-24}$ г/см³. Космическое пространство отличается от атмосферы какой-либо планеты, в частности Земли, не только плотностью, но также подчиненностью составляющих пространство частиц вращательному движению планеты.

И если подходить к атмосфере нашей планеты с этих позиций, то граница атмосферы лежит где-то между 1500 и 2500 км от поверхности Земли, причем переход атмосферы в межпланетное космическое пространство постепенен, смазан и провести четкую границу затруднительно. Во всяком случае на высоте 1200 км плотность нашей атмосферы в 40 раз больше средней плотности межпланетного космического пространства и составляющие атмосферу частицы подчинены суточному вращению Земли.

Принято считать все, что на 2000 км выше поверхности Земли, космосом, а ниже 2000 км — атмосферой. Таким образом, толща земной атмосферы составляет $\frac{1}{3}$ радиуса твердого тела Земли.

Потому, когда говорят, что космический корабль или космонавт находятся над поверхностью Земли ниже 2000 км, то это значит, что он находится в земной атмосфере, а если выше — то в космосе.

Сухая земная атмосфера представляет собой механическую смесь, на 99,96% состоящую из азота (N₂) — 78,08%, кислорода (O₂) — 20,95% и аргона (Ar) — 0,93%. Недостающие 0,04% приходятся главным образом на углекислый газ (CO₂) — 0,03%, а 0,01% составляют (в убывающем порядке) водород (H), неон (Ne), гелий (He), криптон (Kr), ксенон (Xe), озон (O₃), аммиак (NH₄), перекись водорода (H₂O₂), йод (I), радон (Ra). Таким образом, в основном воздушная смесь газов атмосферы содержит азот и кислород.

Большая часть современного кислорода атмосферы образовалась биогенным путем, в результате выделения его зелеными растениями при фотосинтезе. Однако примерно 25% кислорода существовало в нашей атмосфере еще до появления зеленых растений за счет разложения воды под влиянием ультрафиолетовых лучей Солнца. Вес земной атмосферы составляет одну миллионную веса

всей Земли. Для наглядного представления о весе газов, слагающих атмосферу Земли, укажем, что вес самой редкой составляющей атмосферы — ксенона, может быть представлен груженным поездом длиной 80 земных экваторов. При скорости 30 км/ч он шел бы мимо нас 12 лет.

Мы ничего ни сказали о самой для нас интересной составной части воздуха — водяном паре, потому что содержание его очень изменчиво (от 1 до 30 г/м³ в приземной атмосфере). Среднее содержание водяного пара на широте 70° составляет 0,2%, на широте 50° — 0,9%, а у экватора 2,6%. При некоторых условиях содержание пара может достигать 4%. С высотой содержание водяного пара уменьшается; 70% всей влаги находится в первых 3,5 км атмосферы, а первые 5 км атмосферы содержат около 90% всего водяного пара. Сконденсированная метеорная вода составила бы 25-миллиметровый слой вокруг нашей планеты.

Один кубический метр воздуха на уровне океана весит 1,3 кг, а в 1 см³ воздуха содержится $3 \cdot 10^{19}$ молекул разных газов. Столб сухого воздуха сечением в 1 м² весит 10 333 кг, влажного — меньше, так как плотность водяного пара 0,6.

Каждый из нас многократно наблюдал, как закипает в чайнике вода и как при этом начинает выделяться «пар». Слово пар взято в кавычки не случайно, так как это в действительности не пар, а туман — мелкие капельки парящей воды, становящиеся невидимыми на некотором расстоянии, т. е. превращающимися в пар. Вода закипает при 100° С, но только на уровне океана и при давлении 1 атм. На высоте 20 км и при давлении 60 мм рт. ст. вода закипает уже при 37° С.

Общее количество воды в атмосфере Земли не ограничивается одной парообразной водой, содержание которой в переводе на жидкость составляет 12 300 км³, вода в атмосфере находится также в жидком и твердом состояниях.

Но прежде чем продолжать разговор о воде в атмосфере, нам следует познакомиться со строением самой атмосферы. Атмосфера делится на ряд оболочек, или сфер, которым присущи свои характеристики температур, состава, давления, плотности и т. д. (рис. 21).

Ближайшей оболочкой атмосферы, примыкающей к Земле, является тропосфера. Она характеризуется падением с высотой температуры в среднем на 0,6° С на каждые 100 м высоты. В ней содержится 80% всей

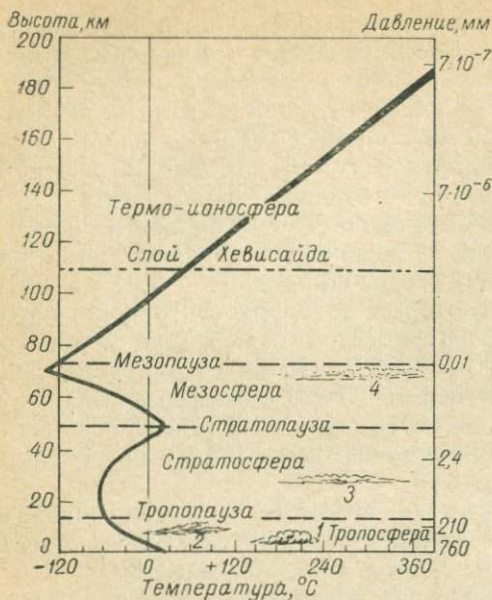


Рис. 21. Схема строения нижней атмосферы.

На схеме показаны средние значения температуры, давления и плотности, имеющие для различных широт отклонения в обе стороны. Облака: 1 — нижнего яруса; 2 — перистые; 3 — перламутровые; 4 — серебристые.

массы атмосферы и почти весь водяной пар. На экваторе мощность тропосферы (ее верхняя граница) около 18 км, у полюса около 6 км, на средних широтах около 12 км. Таким образом, если в приземной части тропосферы температура будет +43° С, то на ее верхней границе (для средних широт) она составит около -42° С.

Большая часть (почти полностью) капельно-жидкой воды и воды в твердой фазе (льдинки, снежинки) находится в тропосфере. Эти фазы воды присущи облакам и туману, дождю и снегу. Облака образуются главным образом в тропосфере. Одни облака состоят из капель, другие из мелких льдинок, наконец, есть смешанные облака.

Капли в облаках, как правило, очень мелкие — от 2 до 70 мк. Но бывают капли величиной около 1 мм и более, которые не могут парить в воздухе, а выпадают в форме дождя, иногда сливаясь из нескольких капель в одну большую:

Диаметр капель
(по Гемфрису),
мм

Сухой туман	0,01
Мгла	0,1
Изморось †	0,2
Слабый дождь	0,5

Умеренный дождь	1,0
Сильный дождь	1,5
Проливной дождь	2,1
Ливень	3,0

Скорость падения мелких капель очень мала — до 1 см/сек, а крупных — до 2 м/сек, т. е. в 200 раз быстрее. В облаках, состоящих из жидких капель, в 1 см³ облака можно насчитать несколько сотен капель. В ледяных облаках капель значительно меньше: в 1 см³ одна снежинка или в нескольких кубических сантиметрах один маленький кристаллик льда.

Сколько воды содержится в облаке? Если объем водного облака равен 1 км³, то в нем в среднем 2000 т жидкой воды. Если же облако состоит из льдинок, то в нем воды значительно меньше: в переводе на жидкую воду в 1 км³ такого облака около 600 т воды.

«Облака», образующиеся непосредственно возле земной поверхности, называются туманами. Туманы также могут состоять из парящих в воздухе мелких жидких капелек или при больших морозах, особенно в Арктике, из парящих кристалликов льда.

Откуда берется вода атмосферы Земли? Главным образом за счет испарения с площади водоемов и водотоков, в первую очередь с площади Мирового океана. Но испарение происходит и с суши (в меньшем размере) и с площади листьев растений, последнее называется транспирацией.

Со всей поверхности нашей планеты ежегодно испаряется 519 000 км³ воды в среднем. Из этого громадного объема на площадь океана приходится 86,3%, а на площадь континентов 13,7% (т. е. в 6 раз меньше). Общее количество испаряющейся ежегодно воды составляет от всей воды, содержащейся в атмосфере, на поверхности Земли и в литосфере, всего 1,25%.

Любопытно, что очень мелкие капельки парящей в воздухе жидкой воды могут не замерзнуть при температуре —15° С, а в редких случаях даже при —30° С. Не менее интересен факт перехода невидимого глазу пара, минуя жидкую фазу, непосредственно в плавающие в воздухе мелкие кристаллики льдинок. Такой процесс называется сублимацией.

Мы уже отмечали, что при некоторых условиях, на которых подробно останавливаться мы не будем, из облаков выпадают осадки в форме дождя, снега или града. Замечено, что подавляющая масса осадков выпадает

из облаков, находящихся не выше 5 км. Количество выпадающих за год осадков в различных точках земного шара различно: от полного их отсутствия (Ла-Жойа, Перу, Южная Америка) до 23 м/год (Черапунджи, в Индии в 1856 г.).

Мы говорили в основном о вертикальных осадках, но осадки могут быть и горизонтальные. Кто бродил по лесистым горам в то время, как облака проходили сквозь густую листву растительности, хорошо знает, какое большое количество воды скатывается с листьев, хвои и веток деревьев и кустов. Попав под такой «ливень», путник промокает до нитки. Эти горизонтальные осадки метеостанциями не учитываются, между тем они давно известны и даже были описаны в учебнике метеорологии В. Н. Оболенского еще в 1935 г. В Южной Африке, в районе Кейптауна на склоне Столовой горы, на высоте 760 м дождемеры, снабженные туманоуловителями, собирали в 6—7 раз больше осадков, чем обычные дождемеры, собирающие только вертикальные осадки. В нашей и зарубежной литературе собран богатый фактический материал, свидетельствующий о большом значении горизонтальных осадков (облаков, туманов).

Но помимо вертикальных и горизонтальных осадков существуют так называемые конденсационные осадки — всем известная роса, образующаяся на поверхности Земли, растений, строений и т. д. при совершенно ясном безоблачном небе. Особенно велика роса в условиях континентального климата (с жаркими днями и холодными ночами), когда дневной теплый или жаркий воздух, содержащий много влаги, с наступлением ночи сильно охлаждается и наступает его пересыщение влагой, выпадающей в форме росы.

Например, на Канарских островах (северо-западный берег Африки, к западу от Марокко, 27° с. ш. и 18° з. д. от Гринвича), где совершенно нет пресных источников водоснабжения, жители собирают росу с листьев деревьев. В Англии поверхностная роса, по данным Дальтона, давала 38-миллиметровый слой воды в год — это не малая величина. В той же Англии существовали с доисторических времен и существуют в настоящее время так называемые «пруды росы». Дюбуа-Раймон назвал их «небесными прудами доисторических людей». Роят круглую яму, дно которой покрывают толстым слоем соломы, а сверху слоем глины, поверх которой накладывают слой щебня. Если солома замокнет, пруд как конденсатор

воды перестанет работать. Такие пруды были и в Гибралтарской крепости.

Но кроме поверхностной росы существует подземная роса, черпающая влагу из паров наземной атмосферы. Действительно, что будет, если мы поместим холодное губчатое тело в теплый влажный воздух? Каждый знает, что оно покроется росой. Вспомните, как «запотевают» в летний жаркий день наружные стенки стакана с налитым в него холодным напитком. Или как «запотевают», т. е. покрываются росой, оконные стекла в теплой комнате в морозный день.

Таким же образом за счет паров воздуха конденсируется вода в пористых породах, на стенках пещер, в рыхлой гальке, гравии или щебне, на внутренних стенах каменных помещений в летний жаркий день и т. д. Этот процесс был известен в глубокой древности, и человек использовал его для получения пресной питьевой воды в тех местах, где ее не хватало или вообще не было.

Возле Феодосии, на склоне горы Тепе-Оба, можно увидеть кучи щебня. Невольно бросается в глаза, что возле них растительность пышнее и сочнее, чем в других местах.

Оазисы Сахары почти всегда питаются водой близлежащей возвышенности, где конденсируются пары воздуха.

Еще в конце XVIII в. обратили внимание на то, что некоторые плотины и земляные валы способны выше уровня грунтовых вод при отсутствии дождей давать источники, которые в периоды длительных засух имели устойчивый и значительный дебит.

В 1900 г. в районе Феодосии были обнаружены каменные сооружения греков и генуэзцев. Кучи щебня с подведенными под ними гончарными трубами служили для получения воды из паров атмосферы. Такие же сооружения, судя по археологическим данным, существовали в Крыму в районе Керчи, Евпатории и в древних крепостях — Оски-Кермен, Кошке, Неаполе Скифском.

В Вестфалии (ФРГ), в районе Зауэрландских гор, на вершинах изолированных возвышенностей, обнаружены действующие в длительный засушливый летний период источники: Лянквелле на вершине горы Лан, Леннеквелле на вершине горы Астенберг и др.

Во Франции, на площадях, где культивируется виноград, было определено, что количество собранного за лето виноградного сусла ощутимо превышает сумму летних осадков, выпавших на занятую виноградниками площадь.

В районе Средиземного моря, в Монпелье (Лионский залив, Франция), пирамида, сложенная из рыхлосцементированной известняковой гальки, без участия дождевых осадков дала за лето 88 л воды. Максимальное количество воды за сутки составляло 2,5 л.

В Москве в 1936 г. на территории бывшей Сельскохозяйственной академии была построена установка по конденсации паров воды воздуха, которая работала несколько лет и получала с 1 м² площади до 44 г воды в час.

По свидетельству В. В. Тугаринова — специалиста по вопросам естественной конденсации паров атмосферы, был установлен факт конденсации воды в зерне при его хранении на открытом воздухе, а также было выяснено, что среди осыпей у подножия крымских гор на площади 1 км² за 10 ч может конденсироваться до 4500 т воды. В. В. Тугаринов ставил вопрос о водоснабжении Крыма пресной водой за счет паров атмосферы. Проводились исследования этих процессов в природных условиях Кавказа (1934—1938 гг.) и Средней Азии (1942 г.).

Автором этой книги при проведении многолетних гидрогеологических работ в Енисейском секторе Арктики совместно с гидрологами было установлено резкое превышение поверхностного стока (на 37%) даже без учета расхода на испарение и просачивание воды в почву над приходной статьей — атмосферными осадками. Такое превышение расхода в балансе влаги крупного региона (площадь в несколько десятков тысяч квадратных километров) над приходом может быть объяснено только крупной подземной конденсацией теплого летнего воздуха в губчатой массе щебня на многочисленных и высоких склонах столовых гор, при условии нахождения в этом щебне на некоторой глубине холодного экрана, так называемой «вечной», или правильнее многолетней, мерзлоты, которая занимает в СССР почти половину его площади (47%), а на площади всех континентов нашей планеты она занимает 25% всей суши.

В дальнейшем автору удалось с помощью разработанной им новой (гидрохимической) методики определить ориентировочный удельный вес конденсационной воды в Енисейском секторе Арктики в приходной статье влаги изучавшегося крупного региона. Подземная роса составляла не менее 20% от суммы жидких и твердых вертикальных годовых осадков.

Внимание читателя было привлечено к такому как будто бы узкому специальному вопросу в надежде на то,

что проблема получения из паров воздуха пресной воды, в которой в настоящее время так нуждается все человечество, заинтересует людей самых разнообразных специальностей и может получить совершенно неожиданно принципиально новое освещение и решение.

Для того чтобы представить величину содержащейся в атмосфере парообразной воды, придется сделать маленькое отступление. Вода, выпадающая на поверхность Земли в форме осадков: 1) частично стекает по наклонным плоскостям поверхности в водоемы и водотоки и, в конечном итоге, попадает в Мировой океан; 2) частично испаряется обратно в атмосферу и 3) частично просачивается в почву и питает подземные воды, откуда она в некотором объеме опять попадает в Мировой океан.

На этом круговороте воды в дальнейшем остановимся подробнее. Здесь мы упомянули его только для того, чтобы познакомить читателя с понятием стока.

На площади бассейна какой-либо реки со всеми ее притоками, установив водомерный пост вблизи места впадения этой реки (допустим, в море), мы можем определить, сколько воды стекло с поверхности и, отчасти, подземным путем. Установив там ряд дождемеров, мы сможем узнать, сколько воды выпало из атмосферы на эту площадь в форме дождя и снега (хорошо было бы определить и росяные воды, и горизонтальные осадки), а с помощью соответствующих приборов — величину суммарного испарения (с почвы, с открытых водных поверхностей и с растений). Сумма стока воды у замыкающего створа в нижнем течении реки и величины испарения дадут годовую цифру осадков. Таким образом, мы подведем, правда очень грубо и не совершенно, баланс влаги нашей территории.

Возьмем, например, территорию Ленинградской, Псковской и Новгородской областей с площадью водосбора около $400\,000\text{ км}^2$. Годовой расход воды рек Невы, Луги, Нарвы, частично Зап. Двины и верховьев Волги $106\text{ км}^3/\text{год}$, а суммарное испарение с этой площади $134\text{ км}^3/\text{год}$. Значит, годовое количество атмосферных осадков — $240\text{ км}^3/\text{год}$. Мы получим следующий годовой баланс влаги, км^3 :

Приход	Расход
Атмосферные осадки 240	Речной сток . . . 106
	Суммарное испарение 134
Всего 240	Всего 240

Как увидим ниже, эта школьная схема очень примитивна и далеко не отвечает истинному влагообороту рассматриваемой территории, но пока будем считать ее правильной. Сделаем лишь одно очень существенное замечание. Оказывается, в этом балансе для рассматриваемого района мы совершенно не учли большей части воды, которая, однако, участвует в районе весьма активным образом, переносясь в воздухе. Это та вода, которая находится в атмосфере в форме пара. Эта вода не стоит (или «висит») неподвижно в воздухе, она движется, и ее движение зависит от ветра. Так, например, в рассматриваемых нами областях движение ветра (т. е. воздуха и заключенного в нем водяного пара) имеет резко преимущественное направление в сторону восточных румбов, или в основном с запада на восток.

Подсчеты, сделанные К. И. Кашиным и Х. П. Погосином для всей территории европейской части СССР, были использованы автором для названных выше трех областей. С этой целью было взято вертикальное сечение высотой 5 км и длиной с севера на юг 840 км. И вот что оказалось: за год через эту территорию с запада на восток в воздухе (за ее пределы) выносятся 3425 км³ воды. Это в 32 раза больше, чем вся вода, выносимая за пределы района всеми реками, в том числе и такой крупной, как Нева, питающейся стоками рек Шелони, Ловати, Волхова, Сяси, Свири, Вуоксы, вытекающих из таких громадных водоемов, как озеро Ильмень, Онежское, Сайма и Ладожское (самое крупное озеро Европы, если не считать Каспийского моря). Одна Нева в секунду расходует 2500 м³ воды, а в год — 80 км³.

Каким же незначительным должен представляться этот сток в сравнении со стоком в атмосфере (метеорный сток). В нашем районе метеорный сток в секунду в среднем 109 000 м³ воды, т. е. в 43 раза больше стока р. Невы. Весь метеорный сток парообразной воды происходит в тропосфере, где скорость ветра с высотой возрастает.

Над тропосферой размещается стратосфера, отделенная от тропосферы пограничной зоной — тр о п о п а у з о й, которая изменчива и по высоте, и по относительно незначительной мощности. Давление атмосферы в тропопаузе в среднем в 3—4 раза меньше, чем у поверхности Земли, а температура около —60° С.

С т р а т о с ф е р а почти в 4 раза мощнее, чем тропосфера у поверхности Земли, но зато в 1000 раз менее плотная. Температура ее неоднородна, чаще отрицатель-

ная и лишь у самой верхней границы положительная (рис. 21). Стратосфера крайне бедна водяным паром, но все же здесь могут, хотя и редко, образовываться перламутровые облака, состоящие либо из мельчайших капелек переохлажденной воды, либо из кристалликов льда.

Через стратопазу атмосфера из стратосферы переходит в мезосферу, которая в нижней части имеет положительные температуры, быстро снижающиеся и доходящие в верхней мезосфере до весьма низких, около -100°C . Плотность воздуха здесь очень мала. Давление всего лишь $0,01$ мм рт. ст., т. е. в $760\,000$ раз меньше, чем возле поверхности Земли у основания тропосферы. Здесь иногда возникают светящиеся серебристые облака. Это настолько прозрачные и тонкие образования из кристалликов льда, что через них хорошо видны звезды. Серебристые облака огромны по своим размерам и движутся исключительно быстро (до 200 м/сек). Их образование некоторые ученые связывают с космической пылью.

По последним исследованиям, серебристые облака состоят, действительно, из частичек космической пыли, окруженных ледяной оболочкой. Их средняя высота 82 км ($67-97$ км), а температура самая низкая для земной атмосферы — минус 143°C . Среди серебристых облаков наблюдается как волновое, так и вихревое движение. Эти облака встречаются только на широтах от 45 до 80° и только в течение 7 месяцев (март — октябрь), причем максимум приходится на июль. Многие в серебристых облаках остается загадочным до настоящего времени.

Через мезопазу мезосфера сменяется очень мощной (около 780 км) толщей термо-ионосферы, где плотность воздуха падает в среднем до $7 \cdot 10^{-14}$ г/см³, а давление от $0,01$ в нижней части до 10^{-9} мм рт. ст. на верхней границе термо-ионосферы. Температура неуклонно поднимается от -100 до $+1000^{\circ}\text{C}$ на высоте около 800 км. Плотность атмосферы здесь низка, но достаточна, чтобы от трения об нее сгорали оболочки метеоритов и метеоритная пыль.

Эта часть атмосферы названа термо-ионосферой из-за очень высоких температур и большого количества заряженных частиц — ионов, делающих эту среду хорошим проводником электричества. Ионизация протекает под действием солнечной радиации (солнечного ветра, несущего корпускулы и ультрафиолетовые лучи). Солнечные корпускулы с участием магнитного поля Земли усиливают

ионизацию газов до свечения их и образования полярных сияний. В спектрах полярных сияний наблюдаются полосы ионов — радикалов N_2^+ и O_2^+ , а также линии атомов H , N , O и ионов O^+ и O^{2+} . На высоте около 110 км находится слой Хевисайда, образование которого отдельные ученые относят за счет ионизированных частиц космической пыли. Этот слой отражает короткие радиоволны, вследствие чего оказывается возможной радиосвязь с нашими антиподами. В верхней атмосфере (100 км) обнаружены атомы O , радикалы OH , CH и CN . Общее число радикалов OH в вертикальном столбе (в 1 см^2) $10^{11} - 10^{12}$.

Термо-ионосфера переходит в экзосферу — верхнюю часть атмосферы (рис. 21). В экзосфере на нижней границе в 1 см^3 содержится 150 000 — 170 000 положительно заряженных атомов кислорода и азота, а средняя плотность этой толщи атмосферы, мощностью более 1200 км, составляет 10^{-20} г/см^3 . Экзосфера от межпланетного пространства отличается большим содержанием отдельных газовых частиц.

Земная атмосфера не представляет собой правильной шаровой сферы. Верхние сильно разреженные слои атмосферы испытывают давление солнечных лучей, и ионизованные газовые частицы атомарного кислорода и азота образуют длинный светящийся шлейф или хвост, напоминающий хвост кометы. Хвост этот, как и у настоящих комет, всегда направлен в сторону, противоположную от Солнца. Длина хвоста очень велика, почти 8 земных диаметров (около 100 000 км).

Через земную атмосферу возможна утечка газов в межпланетное пространство. Но к этим газам относится главным образом водород, который может образовываться в атмосфере на высоте примерно 80 км в результате разложения воды на водород и гидроксил, а последнего — на водород и кислород. На процессе утечки мы остановимся отдельно, так как он связан с потерей воды нашей планетой. Гелий также подвергается утечке: «Интенсивная диссипация гелия теперь реально установленный процесс», — утверждает В. И. Красовский. В тропосфере движение и обмен влаги обусловлены ветром, который при трении о поверхность Земли или воды при достаточной скорости захватывает частицы и может поднимать их на значительную высоту и переносить на очень большие расстояния. Не думайте, что ветер переносит только пыль и брызги. Дело, подчас, доходит до катастроф. Приведем ряд

любопытных фактов, сообщенных акад. Д. В. Наливкиным в его книге «Ураганы, бури и смерчи» [1970].

В 1960 г. в течение 3 суток на юге Украины и в Предкавказье свирепствовала страшная черная пыльная буря, которая временами превращала день в ночь. Из чернозема и песка, который она подняла на воздух и перенесла на значительные расстояния, можно было бы сложить целый горный хребет, который имел бы длину 25 км, ширину 1 км, а высота его достигла бы 1,5 км.

В южных и восточных морях от Японии до Аравии нередко образуется вихреобразная буря, достигающая необыкновенной силы. Японцы называли ее тайфуном, или тифоном. Такое вихревое движение воздуха в виде воронки или столба образуется при нагревании воздуха и его мощного восходящего тока. Его называют также смерч. Из-за огромной скорости движения смерчи обладают громадной разрушительной силой, могут поднимать воду, песок и крупные предметы на большую высоту и переносить их на значительные расстояния со скоростью от 5 до 20 м/сек, а иногда до сотен километров в час.

Подобные вихри, связанные с нижней частью кучево-дождевых облаков, захватывают морскую воду вместе с живыми крабами, медузами и рыбами. То же происходит и с пресной водой на озерах, и тогда этим атмосферным водоворотом могут захватываться рыбы и лягушки. Они попадают в облака и переносятся на десятки километров, а потом вместе с дождем падают на землю. Таким вихрем могут быть подняты на воздух целый пруд или озерко со всем их населением и перенесены на такую же компактную площадь.

При подъеме на высоту, где преобладают отрицательные температуры, захваченные бурей предметы могут обледенеть. Так, была найдена градина диаметром в 30 см с вмержшей в нее черепахой (длиной 15 см), а в другой градине оказался замороженный карп. Трагический случай произошел с планеристами, которые попали в восходящий вихрь. Когда они выбросились на парашютах, их подняло вверх, в зону оледенения, где они замерзли.

Протяженность ураганов достигает 600 км в диаметре, они содержат иногда миллиарды тонн воды. Так, в районе Больших Антильских островов (Карибское море) в 1954 г. ураган под названием «Газель» поднял в воздух тропические раковины гастропод (из семейства брюхоногих) весом около 1 кг каждая, кокосовые орехи и куски бамбука.

В вихре урагана все эти предметы трое суток неслись в воздухе и были сброшены в 1500 км к северу, в штате Северная Каролина, где ни пальмы, ни бамбук не растут и тропические гастроподы не водятся.

Все эти примеры мы привели, чтобы показать, что вода и ветер бывают очень опасными. Мощная сила воды сметает на своем пути многие, казалось бы незыблемые, препятствия. Можно себе представить какой прочности должны быть высотные сооружения, достигающие, например Нью-Йоркский 102-этажный Эмпайер-стейт-билдинг (1931 г.) с телевизионной вышкой, высоты 539 м. Московская 533-метровая телебашня (1967 г.) легко обтекаема воздушными потоками, чего никак нельзя сказать об американском небоскребе, имеющем значительную парусность.

Влага в атмосфере в форме пара, переходя в жидкую фазу, конденсируется вокруг так называемых ядер конденсации — мельчайших частиц пыли и соли, плавающих в воздухе. При этом каждый грамм сконденсировавшейся воды отдает воздуху около 539 кал тепла.

Вода в атмосфере выполняет крупную энергетическую задачу, осуществляя тепло- и массоперенос из одних широт в другие, в частности с помощью циклонов. Циклоны и антициклоны * способствуют более равномерному перераспределению солнечной энергии на нашей планете. Что было бы, если бы их не было? В тропиках была бы невыносимая жара, а в высоких широтах был бы невыносимый холод.

Находясь в воздухе тропосферы мельчайшие плавающие капельки воды или различной формы и ориентировки парящие кристаллики льда являются иногда причиной необыкновенных и очень эффектных небесных явлений.

При соответственном солнечном освещении может возникать на небе всем хорошо известная радуга, светящиеся вокруг Солнца круги, ложные солнца, столбы, полосы и кресты, имеющие общее название гало, или галосы. Гало образуются путем преломления и отражения солнечного, реже лунного, света от парящих в воздухе кристалликов льда.

* Циклоны — это огромных размеров (до тысячи километров) спиралевидные вихри с пониженным давлением в центре; антициклоны — то же, что и циклоны, но с давлением, пониженным на их периферии, т. е. с обратным движением воздуха от центра к наружному краю антициклона.

В особый ряд небесных оптических эффектов, связанных с мелкими водяными капельками, нужно поставить явление «Брокенского призрака», которое наблюдается не только на высшей точке гор Гарц (1142 м над уровнем моря) — Блексберг или Брокен на границе ФРГ и ГДР, но и в других горных сооружениях (рис. 22). На фоне тумана при восходе Солнца, как на экране, проецируются гигантские фигуры людей, стоящих на вершине горы. Часто эта теневая проекция бывает окружена радужным кольцом. Иногда то же самое наблюдается и при закате солнца. Это явление связано с дифракцией (т. е. огибанием) световыми волнами мельчайших капелек тумана. Подобный эффект был причиной появления многочисленных легенд, и в частности был использован Гете в его 1-й части «Фауста», когда в ночь на 1 мая ведьмы и дьяволы устраивают шабаш на горе Брокен.

Эффект «Брокенского призрака» можно наблюдать на Кавказе, в Южной Испании, в горах Андалузии и среди льдов в Арктике при тумане и Солнце у горизонта. Это редкое оптическое явление описал замечательный писатель и журналист, «король российских репортеров», В. А. Гиляровский в своем рассказе «Ага». Он наблюдал его в 1876 г. Вот что он пишет: «Туман то розвел, то сгущался. . . Я остановился. . . Прислушиваюсь — и вдруг передо мной, над зияющей черной пропастью, на фоне тумана проявляется гигантская фигура человека как бы

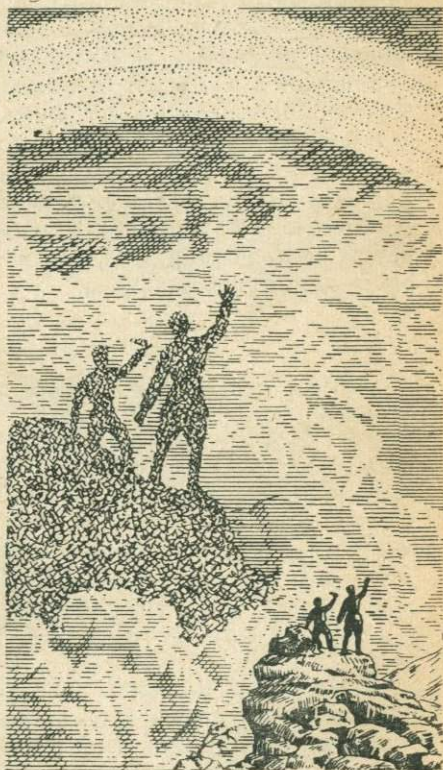


Рис. 22. Брокенские призраки.

парящего в воздухе. Я уже ясно вижу папаху, руку, опершуюся на винтовку, даже ногу отставленную на камень. Сердце захолонуло. . . Я все забыл: где я? Что я! Я вижу самого себя живого, стоящим в необъятном просторе. Мрак бездны глубоко внизу, розовое золото снеговых вершин над моим гигантских размеров вторым «я». Стою, не в силах пошевелиться. Этот второй «я» зачаровал меня, поглотил весь мир. . . Но вот он начинает бледнеть, и как будто таять. . .»

Движение воздуха атмосферы — ветер — крупная потенциальная сила. В атмосфере таятся еще и громадная водная энергия. Не забудьте, что центральная коцегарка нашей планетной системы — Солнце — нагревает водяной котел, которому может быть уподобен Мировой океан, и даваемый им пар поднимается высоко в атмосферу, конденсируясь до жидких капель, выпадающих на Землю.

Так вот, взвешенные в облаках капли воды имеют запас энергии, равный $2,8 \cdot 10^{18}$ ккал, т. е. около 3 квинтильонов больших калорий. Как ни грандиозна эта величина, но подсчеты, сделанные для энергии испарения воды с поверхности нашей планеты, в 121 раз еще больше и составляют в год $3,4 \cdot 10^{20}$ ккал, что в 34 000 раз превосходит энергию, получаемую за год в результате использования угля на всех континентах, а угля сжигается примерно в 10 раз больше, чем нефти.

Конечно, и энергия дождевых капель, и энергия испарения воды не могут быть в настоящее время утилизированы для нужд человека.

Вода поверхности Земли

Океаническая вода — самая важная и распространенная природная вода. Больше половины всей воды земной коры относится сюда.

В. И. Вернадский, 1931

Сначала океаны были маленькими; обширные водные пространства, которые мы видим сегодня, выросли капля за каплей на протяжении всей жизни нашей планеты за счет воды, просачивающейся из недр Земли.

Хелен Райт, 1961

Лик нашей планеты характеризуется распределением по его поверхности воды — океанов, морей, озер, рек, и суши — материков (континентов), островов. Если мы внимательно взглянем на глобус, то подметим одну очень

примечательную особенность, которая в географии называется антиподальностью. Антиподами называются обитатели двух взаимно противоположных пунктов земного шара. Когда мы говорим о географической антиподальности, то имеем в виду, что каждой точке суши на диаметрально противоположной стороне планеты будет отвечать точка, приходящаяся на океан. Лишь в 5% случаев не получается подобного соответствия.

Поверхность Земли занимает 510 млн. км². На океаны приходится 71%, а на площади континентов 29%. До последнего времени все поверхностные воды (океаны, моря, озера, реки) называли гидросферой. В действительности гидросфера понятие гораздо более широкое и охватывает все природные воды, находящиеся в атмосфере, на поверхности литосферы и в ее недрах во всех трех агрегатных состояниях (в твердом, жидком и газообразном) в свободном и связанном виде. В данном разделе мы коснемся только поверхностных вод, и прежде всего вод океанических.

Все океаны Земли образуют единый Мировой океан, с которым все моря связаны проливами. При отсутствии такой связи водоем должен называться озером. При таком строгом подходе Каспийское, Аральское и Мертвое моря являются не морями, а озерами.

Поверхность литосферы отличается значительной расчлененностью. Если взять высочайшую горную вершину (Чомолунгма, Гималаи, 8848 м над уровнем моря) и самую глубокую впадину на дне океана (Марианская, в 1500 км к северу от Новой Гвинеи, ниже уровня моря более 11 км), то разность в уровнях составит 20 км. Обращает на себя внимание и другое обстоятельство. Земной эллипсоид может быть разделен на два полушария: северное «материковое» (39,4% суши) и южное «океаническое» (19% суши). На Северном полюсе расположен океан (Арктика), а на Южном — материк (Антарктида), хотя последний покрыт мощной толщей льда (почти до 4 км).

Если Землю разделить на два полушария с максимальной поверхностью суши в одном и наибольшей площадью воды в другом, то в «континентальной полусфере», полюс которой будет находиться перед устьем Луары (к западу от г. Нант, Франция), суша составит 47%; в «океанической полусфере» с полюсом у Новой Зеландии вода составит 89%. В то же время наблюдается тесная связь отдельных материков друг с другом, как будто свидетельствующая о единстве суши.

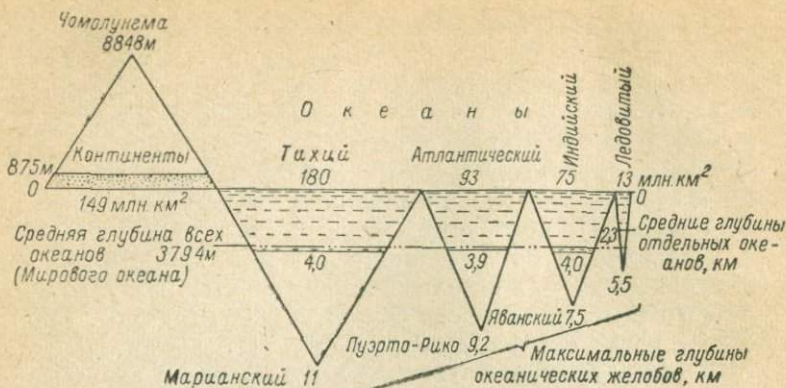


Рис. 23. Диаграмма сравнительных размеров площадей суши и океанов, максимальной и средней высоты суши и глубин отдельных океанов и Мирового океана в целом.

Все это (и антиподальность, и неравномерное распределение суши) говорит о несимметричности поверхности Земли. Как увидим из следующего раздела, подобная асимметрия свойственна не только земному лику, но и глубинному строению земной коры (рис. 16). Некоторые морфометрические характеристики Мирового океана и суши представлены на рис. 23.

Объем воды Мирового океана — более 97% всех поверхностных вод и несколько более половины всей гидросферы Земли (58%). Дно океана, если считать от уровня воды, даже и по средней глубине ниже средней высоты материков. Если срезать сушу и этим материалом постараться заполнить дно океанической чаши, то суша окажется погруженной в воду на глубину около 3 км. В этом случае мы получим средний сферический уровень.

Можно было бы предполагать, что уровень Мирового океана должен быть везде одинаков (разумеется, если исключить различные влияния на воду). В действительности это не так. Если привести реально наблюдаемые уровни (введя поправочные коэффициенты на температуру, соленость и другие условия) к истинному уровню, то окажется, что уровни в Мировом океане различны. Так, например, между Флоридой и Бостоном в Атлантике на расстоянии около 1900 км разность уровней 30 см (на юге ниже). В Панамском канале со стороны Атлантики уровень на 50 см ниже, чем в Тихом океане. В открытых водах Атлантики разница в истинных уровнях может достигать 1,6 м.

Материки часто окружены отмелями (шельфом) разной ширины до глубины около 200 м. По площади эта мелководная отмель занимает 5% от Мирового океана, 60% занято глубинами от 4 до 6 км (210,3 млн. км²). На суше 45% площади принадлежит высотам от 0,2 до 1 км над уровнем моря (67,3 млн. км²).

Если бы уровень вод океана понизился на 1,8 км, Европа соединилась бы с Гренландией, а Австралия с Азией. Дно океана более неровно, чем поверхность континентов. Здесь имеются свои горные цепи (более длинные, чем на суше), котловины, каньоны, рифтовые ущелья, желоба, долины, плоскогорья и холмы. В Атлантическом океане выделяется Срединно-Атлантический хребет, представляющий грандиозное подводное горное поднятие, протянувшееся от Исландии на севере до о. Тристан-да-Кунья на юге, откуда он поворачивает на восток в Индийский океан. Ширина хребта 900 км, высота 4 км, длина около 24 000 км (рис. 24).

В Индийском океане также выделяется центральный хребет с примыкающим к нему Аравийско-Индийским подводным хребтом. Центральный Индийский хребет через подводное плато о-вов Крозе соединяется со Срединно-Атлантическим хребтом, образуя единую мощную полосу океанических горных сооружений.

Наиболее интересен самый обширный и самый глубокий Тихий океан. Существовала гипотеза (ныне совершенно отвергнутая), что Луна образовалась в результате отрыва массы пород от поверхности Земли в месте расположения

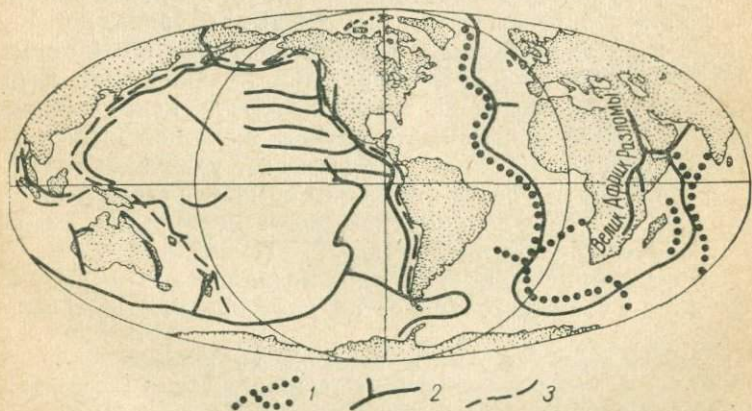


Рис. 24. Главные срединноокеанические хребты (1), глубинные разломы (2) океанического дна и «огненный пояс» (3) Тихого океана.

чаши Тихого океана. Это показывает, как велик объем этой чаши. Тихий океан окружен «огненным поясом», представляющим собой почти непрерывную цепь вулканов (потухших и действующих, подводных и надводных), эпицентров * наиболее глубоководных землетрясений, гирлянд островных дуг и самых глубоких океанических желобов.

Широко распространено мнение о том, что вода не сжимаема. Для малых объемов сжимаемость воды очень мала, но если взять толщу воды океана в 10 км, то при 0° С и минерализации 35 г/л сжатие воды весьма ощутимо. Так, если бы вода была действительно не сжимаема, то уровень Мирового океана поднялся бы на 30 м и залил бы громадные прибрежные полосы. В этом случае Ленинград оказался бы под водой.

За последнее тысячелетие уровень Мирового океана поднялся на 1,3 м. Чем же это можно объяснить? Однозначного объяснения в настоящее время дать нельзя. По-видимому, здесь оказывает влияние сумма различных факторов: общее потепление климата Земли и как следствие его температурное расширение воды; таяние наземных (и отчасти подземных) льдов и приток новой воды из земных недр (мантии).

Часть поверхностной воды (и некоторая часть подземной) находится в твердом состоянии. Толщина льда в океане (Северный полюс) редко превышает 4 м, да и то при условии 10-летнего существования льда.

Плотность льда меньше плотности воды, поэтому лед образуется и плавает на поверхности. Однако иногда лед может образовываться на разных глубинах, в том числе и на дне. Немцы и русские называют его «донным льдом», а англичане и американцы — «якорным». Если такой лед намерзает на лежащие на дне цепи, канаты, якоря, кабели и камни, это служит причиной их всплытия на поверхность воды, что вызывает удивление наблюдателей. Этот лед резко отличен от обычного своей рыхлой структурой. Его первые описания относятся к 1730 г., когда его наблюдали на дне р. Темзы.

Образование донного, или правильнее в н у т р и - в о д н о г о, льда объясняется поступлением при пере-

* Эпицентром называется проекция на поверхность Земли очага или фокуса землетрясения, который называется гипоцентром (область внутри Земли, где возникает землетрясение; глубина его может достигать 700 км). Эпицентр может быть в форме точки, линии или площади.

мешивании переохлажденных вод с поверхности, отложением центров кристаллизации на дне или на различных предметах, находящихся под водой и примерзанием к ним ледяных кристаллов, удерживаемых силами сцепления.

Разновидностью внутриводного льда являются п я т р ы — прикрепленные ко дну острова рыхлого льда, достигающие водной поверхности. Соединяясь группами, они могут образовать плотину длиной свыше 1 км и вызвать наводнения. Пятры наблюдались у нас на Ангаре, Волхове, Неве, Дону и на многих других реках.

Общий запас льда на нашей планете оценивается в 35,3 млн. км³ (включая сюда подземный лед и снег). Главная масса льда принадлежит Антарктиде — 23,9 млн. км³. Если бы эти льды оттаяли, то уровень Мирового океана поднялся бы на 66 м, что привело бы к ужасной катастрофе. В межледниковую эпоху, по данным проф. К. К. Маркова, когда происходило максимальное таяние льдов, уровень Мирового океана поднимался против современного только на 10 м, а в ледниковую эпоху при максимальном оледенении уровень опускался против настоящего на 110 м.

В южном полушарии, являющемся в целом более теплым, чем северное, общая площадь, покрытая льдом, меньше чем в северном, хотя полюс холода Земли находится в Антарктиде. Объем льда в южном полушарии примерно раз в девять больше, чем в северном. Толщина льда на Антарктическом континенте достигает 3,7 км (на самом полюсе — 2,7 км). Меньшая же площадь, покрытая льдами в южном полушарии, и более высокая температура объясняются тем, что это полушарие является океаническим, вода же обладает высокой теплоемкостью. Поэтому океан сохраняет полученное солнечное тепло дольше, чем суша. Океан является регулятором и стабилизатором температуры. Его можно сравнить с банком, в который солнечные лучи делают вклады, возвращающиеся в периоды обеднения солнечной радиацией.

Вода Мирового океана не неподвижна. Каждый из нас, находясь на судне, видел, как мимо него бегут волны. Это передвигается не вода, а лишь ф о р м а морской поверхности.

Волны могут быть не только на поверхности воды, но и в н у т р и водной массы, на границе двух толщ с разными плотностями воды, например, пресной и соленой, разной солености или разной температуры, разной

зающий порт Мурманск обязан своим сравнительно очень мягким климатом именно этому теплому течению. Несмотря на то, что Мурманск находится в Заполярье, среднегодовая температура воздуха $+1,2^{\circ}\text{C}$ с максимумом $+32^{\circ}\text{C}$. Даже средняя температура самого холодного месяца — января — всего лишь -5°C (в Ленинграде — $7,7^{\circ}\text{C}$). Климат Мурманска более мягкий, чем Ленинграда, только за счет «водяного отопления» — Гольфстрима.

Течения в верхней части толщи какой-либо территории океана внизу могут сменяться противотечениями. Так, например, в Гольфстриме на глубине 1400—1800 м находится неподвижный слой воды, а на глубине около 3 км обнаружен обратный ток воды с севера на юг. Придонные течения на глубине нескольких километров могут иметь скорости 8 км/сутки.

На очень больших глубинах океана были обнаружены живые организмы, для существования которых необходим кислород. Присутствие последнего на больших глубинах свидетельствует о происходящих перемешиваниях большей части океанических вод даже в глубоких впадинах.

Нельзя обойти молчанием применяемую уже несколько столетий «бутылочную почту», способствовавшую определению направления, а иногда и скорости океанических течений.

Часто моряки бросали в море бутылки с вложенными записками с просьбой о помощи. В середине XIX в. на берегу Гибралтарского пролива была найдена закупоренная бочка, содержащая залитый смолой кокосовый орех, а в нем пергамент Христофора Колумба, адресованный королю Испании, сообщавший о гибели одной каравеллы и бунте на другой. Пергамент был найден через 4,5 столетия.

Сейчас для изучения течений в океан бросают вместо бутылок пластмассовые конверты с открытками, которые предлагается опустить в ближайший почтовый ящик, указав время и место находки.

Но кроме ветровых и внутренних волн, а также морских течений существует еще одна форма движения воды в океане, связанная с Луной и Солнцем. Это лунно-солнечные приливы и отливы, которые наблюдаются у берегов Мирового океана и впервые были объяснены в 1687 г. Ньютоном.

Сила лунного притяжения в два с лишним раза больше солнечного. На рис. 26 схематично показан механизм

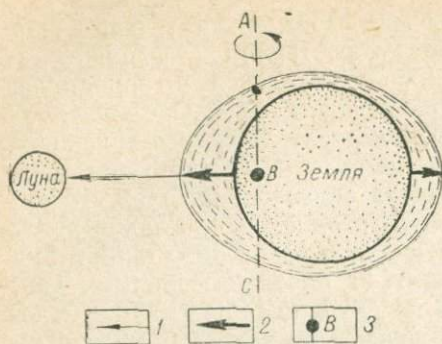


Рис. 26. Лунный прилив в Мировом океане (на стороне, обращенной к Луне, больше, чем на обратной). 1 — сила притяжения Луны; 2 — приливообразующая сила; 3 — общий для Луны и Земли центр вращения двойной планеты.

образования приливной волны, который в действительности значительно сложнее. Из этой схемы явствует, что с учетом суточного вращения Земли приливы (и соответственно отливы) могут быть полумесячные, суточные и полусуточные. Так как склонение Солнца имеет годовой период, то солнечные приливы могут быть полугодовыми, суточными и полусуточными.

Если Луна и Солнце находятся на одной линии с Землей и по одну сторону с ней, то приливообразующие силы складываются и высота прилива, естественно, достигает максимального значения. Но когда Луна и Солнце по отношению к Земле находятся под прямым углом, высота приливов минимальна.

Приливная волна зависит еще и от ряда привходящих обстоятельств. Она может возрастать, например, в результате ее отражения. В отдельных случаях это приводит не к двум, а к четырем приливам за сутки. Такое явление наблюдается между Уэймутом (Англия) и о. Уайт в проливе Те-Солент (возле пролива Ла-Манш).

Мы говорили о высоте прилива. Она может достигать нескольких (даже десятков) метров, однако теоретически высота лунного прилива, по данным крупнейшего океанографа Г. Дитриха, 55 см, а солнечного — 24 см. В то же время зафиксированная амплитуда между приливом и отливом для зал. Фанди (Атлантика, на границе США с Канадой, напротив п-ова Новая Шотландия) 18,5 м.

Совершенно очевидно, что эффект прилива и отлива зависит от характера береговой полосы. Одно дело, если она вертикально опускается в море на большую глубину, и другое, если она очень пологая. В последнем случае, например, во Франции (напротив Нормандских островов),

пологая полоса, заливаемая приливом и освобождающаяся от воды при отливе (так называемая «приливная зона»), достигает 20 км.

Есть еще и совершенно иные движения океанических вод, вызываемые другими причинами и носящие резко отличный характер. Среди таких движений мы должны назвать еще два: сейши и цунами.

Представим себе наполовину заполненное водой корыто. Начнем его слегка и осторожно покачивать в одном направлении. Что произойдет с поверхностью воды? Она не покроется мелкими волнами, а будет то у одного, то у другого края корыта подыматься и опускаться. Посредине будет проходить линия, вдоль которой вода не будет ни подниматься, ни опускаться по отношению к краям корыта.

Аналогичное происходит с замкнутыми водоемами. Такие, чаще однофазовые, явления называются с е й ш а м и. Причинами, способствующими возникновению такой длинной поступательной одиночной волны (ведь берега, подобно нашему корыту, не качаются), чаще служат резкое изменение ветра на одном из берегов водоема при сохранившемся ветре на другом либо резкое изменение давления, особенно когда период его изменений совпадает с собственным периодом колебательной системы водной массы, приводящей к возникновению эффекта резонанса.

Знаменитые ленинградские наводнения, достигавшие после основания города 375 см над ординаром, обязаны своим происхождением также сейшам, первопричиной которых следует считать прохождение циклонов (наличие большой разности давлений в атмосфере на сравнительно небольших расстояниях), приводящих к стремительному движению воздуха.

Известно, что еще в допетровское время территория, на которой был заложен Санкт-Петербург испытывала наводнения при которых подъем воды превышал 400 см, Эти сведения получены из записей шведских историков, свидетельствующих, что в 1300 и 1691 гг. вода доходила до шведских крепостей Ландскрон и Ниеншанц, стоявших в то время у устья Большой Охты. В новгородских летописях упоминается об исключительном наводнении в устье р. Невы в 1541 г.

Один ветер не может в устье Невы нагнать воды выше 2 м против ординара. Для большого подъема необходимы «раскачивание» уровня вод Балтийского моря (сейш)

и, кроме того, образование волны в результате «вспучины», возникающей под влиянием ветра при входе в Финский залив, что приводит к появлению длинной волны, которая гонит воды в устье Невы. Лишь в том случае, когда сложатся вместе три фактора: сильный западный ветер, сейш и вспучина, происходили катастрофические наводнения в Ленинграде (Санкт-Питер-Бурхе, Санкт-Петербурге, Петрограде). Порывы западного ветра при таких наводнениях достигали 42 м/сек:

Но силой ветра от залива
Перегражденная Нева
Обратно шла, гневна, бурлива,
И затопляла острова.

(А. С. Пушкин. «Медный всадник.»)

Впервые сейши были обнаружены и исследованы швейцарским врачом Форелем в 1869 г. на Женевском озере.

Но если уж речь зашла о катастрофических подъемах воды, то самое страшное представляют собой цунами — название, данное японцами. Цунами — гигантские волны, возбуждаемые подводными землетрясениями или извержениями вулканов. Они распространяются вокруг этих очагов концентрически.

Вред, причиняемый цунами, часто во много раз значительнее и тяжелее, нежели от самих землетрясений или вулканических извержений. Самые высокие волны (до 35 м) наблюдались 26—27 августа 1883 г. в районе Зондского пролива при извержении вулкана Кракатау (между островами Суматра и Ява). При этом возникшими волнами цунами было унесено 36 830 человек.

Чаще всего землетрясения морского дна, называемые моретрясениями, наблюдаются в Тихом океане, окруженном «огненным поясом». Япония находится в этом поясе, поэтому ей приходится более всего страдать от бедствий, причиняемых цунами. В среднем раз в 15 лет здесь наблюдались цунами высотой более 7,5 м. За время с 684 г. н. э. отмечены четыре цунами с волнами высотой более 30 м.

Цунами, возникшее 1—2 апреля 1946 г. в результате сильного моретрясения в глубоководной Алеутской впадине (США), вызвало самое большое за всю историю архипелага опустошение на Гавайских островах (Тихий океан). Скорость движения волны достигала 13 м/мин. Даже на расстоянии 3 606 км от эпицентра моретрясения, в Гонолулу, высота волны была 10,7 м.

Вот как описывает Тур Хейердал, плывший с пятеркой товарищей на плоту «Кон-Тики» через Тихий океан, встречу трех волн цунами в открытом море: «Четверо из членов экипажа крепко спали в бамбуковой хижине, — пятый — Торстейн — стучал в своем углу телеграфным ключом, а я стоял на вахте у кормового весла. Близилась полночь. Вдруг я заметил в лунном свете нагонявшую нас сзади громадную волну — ее длинный курчавый гребень тянулся в обе стороны насколько хватало глаз, пересекая лениво плескавшееся море. . .

. . . Громадная мерцающая стена воды надвигалась все ближе . . . И вот она настигла нас. Плот резко вскинул корму в воздух и заскользил боком по переднему скату. Гребень успел разбиться раньше, и вся вода вокруг кипела и бурлила. Несколько секунд клокочущий вал гнал нас перед собой, затем он пронесся дальше, подбросив напоследок вверх нос плота, и мы покатались вниз в широкую ложбину. А за кормой уже высилась следующая водяная стена. . .

. . . Завершающий вал нанес довольно сильный удар по нашей хижине, — Торстейна сбило с ног в его «радиоуглу», а остальные были разбужены устрашающим грохотом воды и солеными струями, которые пробились сквозь щели в стены.

Но при моретрясениях возникают еще и особые «волны сжатия», которые распространяются со скоростью звука *, т. е. значительно быстрее цунами. Сами по себе они вреда не причиняют, даже наоборот, их можно использовать, как сигналы предупреждения цунами, так как они приходят в 7 раз быстрее. Так теперь и поступают. Но эта служба предупреждения может оказаться эффективной лишь при условии достаточно больших расстояний между эпицентром моретрясения и пунктом, нуждающимся в предупреждении. Для Японии это неприемлемо, так как очаги возникновения моретрясения находятся в большинстве случаев в непосредственной близости к Японским островам.

Любопытно, что эти «волны сжатия» иногда воспринимались судами как удар по килу при столкновении с подводной скалой. Это служило основанием для нанесения несуществующих мелей или скалистых выступов дна океана на навигационные карты.

* Скорость передачи звука в воде — 1450 м, в воздухе — 332 м, в стекле — 560 м в секунду. В безвоздушном пространстве звук не распространяется.

Нельзя обойти молчанием ту поистине гигантскую механическую энергию, которую несет морской прибой, оказывая разрушительное воздействие на морские берега, особенно если они представлены скалистыми образованиями. Деятельность волн вызывает крупные геологические преобразования земной поверхности, направленные на выравнивание береговой линии. Но это не везде. Например, западный берег Норвегии весь изрезан фиордами — узкими, глубокими, длинными бухтами, вдающимися в сушу, образовавшимся в результате затопления морем русла послеледниковых потоков. Одним из самых крупных и мрачных ущелий является Лизе-фиорд, вдающийся на 23 км в глубь материка и имеющий ширину 600 м. Его стены достигают высоты более километра и ни один солнечный луч никогда не проникает на дно этого ущелья. У самого берега глубина моря около полукилометра. У входа в другой фиорд — Согне-фиорд — глубина моря 1244 м.

Фиорды встречаются не только на западном берегу Норвегии, но и вдоль западного берега Северной Америки (от Аляски до Ванкувера), в Западной Гренландии, на берегах Лабрадора и Исландии, на Шпицбергене и в других северных районах. Насколько фиорды изламывают береговую линию, можно судить по следующим цифрам. Длина западного побережья Скандинавии по прямой 1900 км, а по изломанной береговой линии — 13 000 км, т. е. в 7 раз больше.

Но в других местах море разрушает огромные скалы, дробя и превращая их в щебень, катая его взад и вперед, а во время бури пользуясь ими как метательными снарядами, которые, ударяясь с огромной силой о каменные бастионы береговых скал, разрушают их. Море, подчас, отвоевывает себе по метру территории в год (южные и восточные берега Англии). Камни в конце концов превращаются в песок. Таким образом, скала, размываемая волнами, рушится в море с помощью своих же собственных обломков.

Здесь уместно рассказать о том, как обломки скал, получившие под воздействием воды округлые формы, иногда образуют любопытные овальные глубокие ямы в скальной породе, называемые «котлами гигантов». Лежащий в извилине утеса на уровне моря камень за многие сотни лет в результате движения его волнами вырывает округлый колодец с отшлифованными стенками. Диаметры таких котлов достигают многих метров. Это явление

дало повод к созданию народных легенд о том, что великаны древности изготовили себе эти котлы для варки в них пищи.

На о. Менорка (в группе Балеарских островов на Средиземном море) возле берега, среди скал, имеются две колодезеподобные щели с системой трещин внизу. Когда крупные волны с силой врываются в трещины, заполняя пустоты, воздух сжимается и производит шум, подобный пушечному выстрелу, и, не находя достаточного выхода, давит на воду, которая фонтаном на высоту нескольких метров бьет выше скал, подобно струям воды, выпускаемым китами. Эти колодцы у местных жителей носят название «меха дьявола».

Морские волны, мечущие громадные валуны, создают причудливо-фантастические береговые «архитектурные» сооружения (рис. 27).

Хотя, как уже отмечалось, более 97% всех поверхностных вод нашей планеты принадлежит Мировому океану, говоря о поверхностной воде, нельзя не остановиться на тех 3%, которые принадлежат внутренним водоемам и водотокам, т. е. озерам и рекам, имеющим в жизни человека, пока он живет на суше, очень большое значение.

Мы уже познакомились с определением поверхностного стока и понятием бассейна реки. Питание рек водой осуществляется за счет атмосферных осадков (дождя, снега, града) и подземных вод. Как правило, большинство рек впадает либо во внутренние водоемы (не связанные с Мировым океаном), либо в Мировой океан (непосредственно или через посредство связанных с ним морей). В первом случае мы получаем бессточный бассейн,



Рис. 27. Арка, образовавшаяся под действием морских волн на берегу Нормандии (Франция).

например бассейн Каспийского моря с впадающими в него реками Волгой, Уралом, Курой, Тереком и другими более мелкими. В этом случае расход вливающейся в Каспий воды происходит т о л ь к о в результате испарения в атмосфере.

Во втором случае главный расход воды идет через русло и устье основной реки, а испарение имеет второстепенное значение.

Бессточных котловин много и кроме Каспийской. Например, Туранская низменность с Аральским морем и с впадающими в него Амударьей и Сырдарьей; котловина Цайдам в китайской провинции Цинхай; бассейн Мертвого моря, Бахр-Лут (Палестина); Долина Смерти с оз. Сёрле (Южная Калифорния, США) и многие другие.

Некоторые реки, стекающие с гор, никуда не впадают: их русла, высыхая, теряются в пустынях. Например, многие водотоки, стекающие с гор Куньлуня, теряются в пустыне Такла-Макан, водотоки Центральной Австралии и т. п.

Выпавшая на возвышенные участки суши вода, стекая по руслам рек, может быть использована на гидростанциях. Если эту энергию перевести на угольный эквивалент, то она для всей Земли будет соответствовать 165 млрд. *т* угля в год. В настоящее время тратится в год 1,4 млрд. *т* угля. При этом не надо забывать, что энергия воды не подобна углю, торфу, нефти и природному газу, которые не возобновляются. Водная энергия возобновляема. Она в человеческом масштабе (не геологическом) практически вечна.

Но водная энергетика не ограничивается одними реками. Сила приливов также может быть использована на гидростанциях. В период прилива наполняется водой бассейн, стоящий выше уровня моря, который при отливе, спуская запасенную воду, вращает турбину. Общая мощность приливной волны Земли 40 млрд. *квт*. Это более чем в 10 раз превышает так называемый валовой потенциал речных водотоков нашей планеты.

Использование этой энергии — дело не новое. Человек уже сотни лет строил приливные мельницы как в Западной Европе, так и в Северной Америке. Разумеется, коэффициент полезного действия этих сооружений был исключительно низким. Современная техника имеет неизмеримо более выгодные возможности, использует обратимые турбины. Такие турбины в настоящее время уже работают на многих станциях.

Остановимся еще немного на озерах. Озера по происхождению очень разнообразны. Например, реликтовые, т. е. отделившиеся от моря, связанного с Мировым океаном. Таков Каспий, который, возможно, всего 4 тысячелетия назад вдоль современной заболоченной долины по линии устья рек Кумы и Дона, через цепь озер Маныч соединялся с Азовским морем. Водный баланс этого озера может быть представлен следующими цифрами, %:

Приход	Расход
Сток рек 71 (в т. ч. Волга— 82%)	
Осадки 19	
Подземное питание (предположительно) 10	Испарение 100
Всего 100	Всего 100

Крупный водоем Каспий обладает редкой особенностью — заливом Черной Пасты. Так звучит русский перевод туркменского названия крупного залива на восточном берегу Каспия — Кара-Богаз-Гола. Этот залив — действительно пожиратель каспийской воды и, особенно, растворенной в ней соли. Он представляет собой огромную лагуну, отделенную от моря песчаной пересыпью длиной около 110 км. Длина залива 160 км, максимальная ширина 150 км, а глубина 13 м (при средней глубине 9 м). Дно ровное, без островов. В средней части пересыпи есть пролив шириной 450 м, длиной около 6 км и глубиной до 6 м. Вот этот-то пролив — «гирло» — и носит название Черной Пасты, а сам залив у туркменозов назывался Адж-Дарья (Соленое море) или Кули-Дарья (Слуга моря). В русской транскрипции Кара-Богаз-Голом неправильно называется весь залив.

Уровень воды в заливе на 30—80 см ниже уровня в Каспии. Поэтому вода из Каспия постоянно перетекает в залив (в год в среднем 17 млрд. м³ воды). Причем скорость течения в год различна: летом (в жаркие дни) быстрее, зимой (в морозные дни) медленнее. Раньше полагали, что такое огромное количество воды, как 17 км³/год, проваливается в пучину. Но в действительности пожирателем воды являются не земные недра, а атмосфера. С помощью Солнца вода летом нагревается до +35° С и испаряется. Климат здесь сухой — осадков выпадает всего

лишь около 100 мм в год, а среднегодовая температура $+14^{\circ}\text{C}$ (в июле $+40^{\circ}\text{C}$, а в январе -6°C); дуют сухие восточные ветры, способствующие испарению. Окружающий ландшафт — песчаная пустыня.

Соленость воды залива 180 г/л против 14 г/л в Каспии. Усиленное испарение приводит к выпадению из рассола различных солей. В 1 м³ рассола Кара-Богаз-Гола содержится 124 кг поваренной соли (NaCl), 73 кг хлористого магния (MgCl₂), 57 кг сульфата натрия (Na₂SO₄), 160 г брома (Br); на дно ежегодно выпадает до 17 млрд. т глубоководной соли (мирабилита — Na₂SO₄ · 10H₂O). Животные, приносимые течением в залив, погибают. Кара-Богаз-Гол — единственное в мире по мощности месторождение сульфатных и хлористых солей натрия и магния, а также брома. Этот залив опресняюще влияет на воды Каспия.

Аналогично Каспию происхождение озер Ладожского, Онежского, Сайма и многих других.

Озера могут образовываться в результате горных обвалов (плотинные озера, например Сарезское озеро на р. Мургаб в Таджикистане образовалось от обвала в результате землетрясения и подпора воды реки).

При растворении текучими водами известняков и гипса могут возникнуть карстовые озера. То же происходит и при таянии подземных льдов в многолетней («вечной») мерзлоте. Озера могут образовываться в кратерах потухших (может быть, временно) вулканов и по многим другим причинам.

Площадь всех озер мира несколько менее площади Средиземного моря (2,7 против 3 млн. км²), а суммарный объем воды всех озер 250 тыс. км³; это только в три раза превышает годовой расход Невы. В то же время 1/3 массы воды всех озер нашей планеты принадлежит Каспию.

Рассмотрим еще некоторые примечательные озера Земли. Пожалуй, одним из замечательнейших следует назвать Большое Соленое озеро в США (в северо-западной части штата Юта) площадью около 5 тыс. км², при средней глубине около 5 и максимальной 10 м, с окружностью 400 км. Его максимальная длина около 130 км, лежит оно на высоте 1300 км. Представляет собой остаток громадного водного бассейна, существовавшего в ранне-четвертичное время. За время своего существования оно дважды высыхало и дважды наполнялось водой. Несмотря на значительную высоту, озеро находится в бессточной котловине. В него впадает ряд небольших рек. Минера-

лизация воды 130—220 г/л, т. е. его воды более чем в 6 раз солонее вод Мирового океана. Минерализация изменяется в зависимости от уровня, связанного с выпадением осадков. Окружающая озеро бесплодная пустыня в настоящее время представляет цветущую долину благодаря упорному труду переселившихся сюда в 1848 г. мормонов.

Много сходных черт с Большим Соленым озером имеет Мертвое море (называвшееся греками Асфальтовым). Длина его 76 км, ширина 4—16 км, площадь 920 км². Наибольшая глубина около 400 м. Уровень воды изменчив: средний уровень лежит ниже уровня Средиземного моря на 392 м, таким образом, дно этого озера лежит ниже уровня Мирового океана на 791 м. Минерализация воды достигает 437 г/л. Со дна всплывает асфальт, поступающий из недр. В воде содержится 6 г/л брома — самое большое количество, когда-либо зарегистрированное для любой поверхностной воды мира. На западном берегу этого водоема находится соляной купол — гора Джебель-Уздум. Она поднимается над уровнем озера на 210 м; длина ее 10 км, ширина 1,5 км. Есть основание предполагать, что соляной рассол поступает по разлому из глубины. Он образовал и соляной купол и само соленое Мертвое море. Его название вполне оправдывает мрачную картину смерти в открывающемся пейзаже. Окружающие горы состоят из обнаженных скал. Его берега лишены всякой растительности, а вода населена лишь немногими низшими существами — некоторыми видами корненожек. Рыбы, ракообразные и различные насекомые, приносимые р. Иорданом и горными потоками, немедленно умирают в водах Мертвого моря. Даже водные растения не могут жить в этом море-озере. По составу воды оно совершенно отлично от воды океана. Питание это море-озеро получает на $\frac{1}{3}$ из р. Иордан, а на $\frac{2}{3}$ за счет разгрузки подземных рассолов.

В СССР имеется много соленых озер, хотя и меньшего размера: Эльтон, Баскунчак, многочисленные озера между Каспием и Аралом, в Крыму и т. д. Остановимся на описании одного из них — оз. Баскунчак, которое находится в 70 км к востоку от устья Волги, возле западной границы Казахстана, в 105 км к югу от оз. Эльтон. В длину оз. Баскунчак имеет 20 км, в ширину 10 км, площадь его 110 км². Уровень озера ниже уровня океана на 18 м. К югу возле озера находятся соляные купола: две горы, сложенные с поверхности песчаниками, глинами, известняками, гипсами и ангидридами — Большое и Малое Богдо.

По-монгольски Богдо значит «святой». Горы находятся в 45 км друг от друга. Высота Бол. Богдо над озером 171 м, а Мал. Богдо — 30 м. В породах горы Бол. Богдо найдены свинец, медь, сера и признаки нефти в песках на глубине всего 8 м.

Рассолы в озеро поступают в виде многочисленных ключей с больших глубин. Средняя глубина озера не превышает 40 см, а дно целиком выложено солью. Фантастическую картину представляет собой это озеро, по которому от Волги (пристань Владимировка, Ахтуба) проложена в 1882 г. ширококолейная железная дорога. Шпалы уложены прямо на соленое дно озера, а поверх них по рельсам движется длинный железнодорожный состав. Впечатление со стороны невероятное: поезд движется по поверхности воды. При ветре рассол стоняется в одну сторону и наветренная часть озера полностью лишается воды, отчего возникает удивительная картина замерзшего в летнюю жару озера. Купание возможно лишь в больших выработках для добычи соли, где глубина достигает 10 м и более. Рассол настолько крепок, что человек плавает как пробка, при некотором навыке в воде можно сидеть, а лежать совсем просто.

Вблизи озера среди ровной степи можно увидеть провальную воронку с небольшим отверстием на дне, в которое может спуститься человек. Достигнув некоторой глубины по узкому проходу, попадаете в сложный многоэтажный лабиринт узких коридоров и гротов с боковыми ответвлениями. В одном из подземных залов течет соленый ручей, который, вероятно, является в настоящее время миниатюрным остаточным водотоком, бывшим причиной образования подземных пустот, выщелоченных водой в гипсовых отложениях нижней перми *. В потолках коридоров и гротов находились цилиндрические каналы, соединяющие иногда отдельные этажи пещеры. Эти вертикальные ходы когда-то были связаны с провальными воронками, выходившими на дневную поверхность, но в настоящее время дно таких воронок засыпалось и вертикальные трубы стали слепыми колодцами.

Приводимое описание оз. Баскунчак относится к 1930 г. и сделано по личным впечатлениям автора, работавшего в то время в этом районе по разведке на пресную воду,

* Осадочные отложения нижнепермского времени имеют возраст порядка 200 млн. лет.

которой так не хватало окрестным жителям. Воду приходилось привозить в цистернах по железной дороге с Волги за 70 км, ее выдавали по карточкам.

Большинство озер, получающих воду в избытке (дождевую, снеговую или ледниковую), дают начало реке. Часто озера являются расширением реки. Например, Констанцское озеро представляет собой расширение Рейна, а Женевское — Роны. Чудское озеро является расширением когда-то единой реки Ловать-Волхов. В обоих последних озерах на дне сохранились следы русел прарек.

Крупные проточные озера регулируют как расход рек, так и температуру воздуха. Когда почва вокруг озера охлаждается, то над ним еще сохраняется теплый воздух, нагреваемый водой.

Остановимся на отдельных морях, обладающих примечательными особенностями. К подобным морям, пожалуй, можно отнести в первую очередь Красное море. Оно лежит на границе между Азией и Африкой и имеет длину 2250 км при максимальной ширине всего 352 км. В северной части моря находятся два залива — Суэцкий и Акава. Как длинный желоб самого Красного моря, так и оба залива представляют собой часть системы крупных провалов (грабен), созданных Великими Африканскими глубинными разломами. Одни из них протяженностью более 2000 тыс. км образовали впадину этого моря, наибольшая глубина которой 2359 м. Температура у поверхности воды в течение года колеблется от 20 до 32° С.

За трехлетний период (1963—1966 гг.) ряд исследовательских судов зарубежных стран («Атлантик-II», «Дисковери», «Метеор», «Чайн») изучали придонные условия этого моря. В июне 1966 г. советское судно «Академик Вавилов» тоже провело там ряд исследований.

Суда «Атлантик-II», «Чайн» и «Дисковери» открыли на дне Красного моря 3 крупные впадины, которые получили названия этих трех судов. Было установлено резкое возрастание плотности, солености и температуры в этих впадинах. Самой большой по площади (80 км²) оказалась впадина «Атлантик». В то время как на поверхности впадины температура воды составляла 21° С, на глубине 2200 м она достигала 56° С, а температура донных отложений 61° С. Соленость воды 310 г/л против нормальной океанической 35 г/л, при этом отсутствовали даже следы кислорода.

Никакой аналогии с океанической водой у придонной воды Красного моря быть не может, что ярко иллюстрируется следующими коэффициентами:

	Вода океаническая	Вода Красного моря (с глубины 2140 м)
Бром/хлор	0,00340	0,00079
Магний/кальций	3,12	0,17
Гидрокарбонаты/хлор	0,00740	0,00004
Сульфаты/хлор	0,14000	0,00048

Эти воды сопоставимы с глубинными водами нефтяных буровых скважин.

Дальнейшие исследования на судах ФРГ, США, Англии и Швеции полностью подтвердили прежние данные, кроме того, были получены новые сведения. Горячий рассол, изливающийся на дне впадины, оказался металлоносным и содержал в 5000 раз больше железа, марганца, цинка, свинца, серебра и золота, чем вода Мирового океана. Донный ил на 90% состоял из окислов и сульфидов тяжелых металлов. Пока этот ил исследован только на глубину 10 м. Сейсмические данные свидетельствуют, что мощность металлоносного слоя превышает 100 м. Работами геологической службы США в лице доктора Ф. Т. Мангейма установлены запасы тяжелых металлов в 130 млн. т. Исследование изотопного состава этих металлов подтверждают их глубинное магматическое происхождение.

Мы много говорили о жидкой поверхности воде Земли. Но значительная часть территории Земли в течение ряда месяцев (а в высоких широтах даже большую часть года) покрыта твердой фазой воды — снегом. Толща снежного покрова в отдельных случаях может достигать на ограниченных площадях значительных мощностей — 15—20 м. Разумеется, такие толщи снега образуются главным образом за счет его сдувания сильными ветрами с плоских горных вершин в узкие лога и долины, поросшие редколесьем.

Большие скопления снега могут быть причиной катастроф. Трудно поверить, что человек может утонуть в снегу. Между тем это действительно возможно. Автор сам, работая в Арктике, однажды в течение пяти часов вел отчаянную борьбу за жизнь, погруженный в 6-метровую толщу насыщенного водой снега. Это происходило в полдень 1 июня 1947 г. в 12 км от г. Норильска, в одном из оврагов долины р. Ергалак, окруженной высокими столовыми горами. По виду снег ничем не отличался

от обычного. Температура воздуха была $+3^{\circ}\text{C}$, стоял полярный день.

Провалившись вместе с лыжами в эту пучину смеси воды со снегом, я много часов делал безуспешные попытки выбраться на поверхность, я промок до нитки. Стоило несколько минут отдохнуть, как я чувствовал, что начинаю переохлаждаться. Я знал, что замерзнуть или отморозить конечности можно и при температуре $+1, +5^{\circ}\text{C}$ (такие отморожения часты в Италии). Примерно в полутора километрах от меня находился палаточный лагерь нашей геологической партии. Я пытался кричать, но они не могли услышать меня, это был крик как бы из колодца. Я так бы и погиб в этой снежной яме, если бы к вечеру мои сотрудники не обратили внимания на мое отсутствие и не принялись бы за поиски. Они быстро обнаружили мое местонахождение, но приблизиться не могли. Тогда из больших листов фанеры соорудили два плота, на которых лежало по одному человеку. Цепляясь с помощью канатов с крюками на концах за редкие деревья, они медленно продвигались к месту катастрофы. Наконец, я был извлечен из снежной пучины и спасен от гибели. Впоследствии я узнал, что таким образом в снегах утонул не один человек.

Большие скопления снежных масс на крутых горных склонах могут являться причиной образования лавин, скользящих с гор и несущихся вниз по склону. Чаще всего лавины образуются за счет нависающих на гребнях горных хребтов снежных карнизов, которые нарастают в результате метелей и, наконец, обрушиваются на горные долины, сокрушая на своем пути все. Лавины могут срывать до основания двухэтажные дома, линии электропередач, железнодорожные мосты, опрокидывать составы поездов и т. д. (скорость лавины достигает $60-100\text{ м/сек}$). Эти катастрофы подчас сопровождаются крупными человеческими жертвами. Особенно страшны лавины весной, когда снег пропитался водой. Их объем достигает $1\,000\,000\text{ м}^3$, а вес $800\,000\text{ т}$.

Главная разрушительная сила предшествует самому телу лавины, которая при своем стремительном движении создает впереди себя гигантскую воздушную волну, ломающую и опрокидывающую крупные препятствия. Этим объясняются крупнейшие разрушения в местах, куда сама лавина не докатилась. Это явление подобно движению воздушной волны вдоль городской улицы от взрыва авиабомбы. В блокированном Ленинграде мне

часто приходилось наблюдать, как в доме, соседнем с домом, в который попала взорвавшаяся бомба, все стекла оставались целыми. Далее же вдоль улицы, на значительном расстоянии от места взрыва, окна в домах были выбиты по обеим сторонам улицы в шахматном порядке. Взрывная волна шла, ударяясь то в одну, то в другую стороны улицы.

Лавины могут скользить по поверхности склонов гор, могут течь, подобно снежным рекам, вдоль «русел» горных логов, но могут и прыгать по уступам гор, обрушиваясь вниз.

К лавинам по разрушительной силе близки сели * (их называют также селями, или мурами). Это бурные грязевые потоки, образующиеся обычно после сильных ливней в горных долинах. Такие потоки подчас до 75% от общего объема насыщены обломочным материалом. Такой поток перегружен обломками от крупных каменных глыб до мельчайших глинистых частиц. Силевые потоки выносят сотни тысяч кубических метров грязи и миллионы тонн грязевой массы с водой и каменным материалом.

Автору в 1951 г. довелось наблюдать крупный сели в одной из широтных долин краевой части плато Сыверма (правобережье р. Рыбной) в Арктике. В первых числах июня, когда еще лежали мощные толщи набухшего водой снега, в течение одной ночи резко поднялась температура и начался редкий в Арктике ливень. Верховья лога оказались перегорожены плотиной из щебня, глины, снега и валунов. Выше плотины в результате ураганного таяния снега и ливневых вод образовался крупный водоем.

В устье лога была построена двухэтажная электростанция на бетонно-каменном основании. На станции был установлен мощный локомобиль и динамо. При станции находились мастерские, служебные и жилые помещения. Под утро образовавшаяся природная плотина, сдерживавшая грязевую массу, наполнившую водоем, прорвалась и силевой поток с шумом и грохотом ринулся к устью лога. Электростанция оказалась срезанной до основания вместе со всеми машинами. Локомобиль был отнесен вниз на 2 км, а другие детали механизмов еще дальше. От самого здания не было найдено даже следов. Высота грязе-

* Силь, или сели, или сейль, в переводе с персидского означает сильный, внезапный, порывистый ураган с грозами и ливнями, с бурными потоками по долинам.

вого потока уже возле расширяющегося лога, по моим замерам следов на склонах, достигала почти 6 м.

В других местах (в Средней Азии, в Альпах и т. д.) силевые потоки начисто сносили целые селения.

Говоря о твердой фазе воды, нельзя не упомянуть об айсбергах, представляющих собой громадные ледяные глыбы, отломившиеся от сползающих в океан материковых ледников, преимущественно из Антарктиды и Гренландии. Откалывание ледяных гор происходит в результате приливов и отливов, а также штормов, когда вода то приподнимает, то опускает концы ледяных полей, имеющих толщину во много сотен метров.

Встречали айсберги длиной в 120 км, шириной 75 км и высотой до 450 м. Это целые плавучие горные сооружения из льда, большая часть массы которых находится под водой. В зависимости от качества льда и содержащихся в нем пустот, над водой находится всего лишь от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{6}$ объема айсберга.

Известно, какая катастрофа произошла в 1912 г. от столкновения в тумане с айсбергом, длина которого была более четверти километра, крупнейшего для того времени океанского лайнера «Титаник». Из 2358 человек, находившихся на борту, погибло 1490, т. е. 63%. Теперь такие катастрофы, благодаря радиолокаторам, уже невозможны.

Неменьшую опасность могут представлять и подземные льды на материке. Это так называемые наледы, которые встречаются в области распространения многолетней мерзлоты на 45% площади СССР. Наледи могут быть грунтовые и речные. Грунтовые наледы чаще образуются в местах выхода источников. Вытекающая вода при тридцати-сорокаградусных морозах быстро замерзает, образуя бугристый панцирь льда, внутри которого нарастает давление, достигая подчас десятков атмосфер. Грунтовые наледы часто образуются под толщей грунта. Они представляют собой бугор с ледяным ядром, не оттаивающим за короткое (всего 1 месяц) полярное лето.

Речные наледы возникают в русле реки в результате резкого сужения его живого сечения из-за образования толстого льда и питания реки за счет выхода подводных ключей.

В верховьях р. Зеи в одном из ее левых притоков автор (в 1933 г.) наблюдал гигантскую речную наледь, на которой ранней весной 1932 г. погиб караван с людьми. Речная наледь длиной около 2,5 км и шириной более 100 м,

когда на нее вступил караван, взорвалась из-за нарушения равновесия с такой силой, что из десятка людей и лошадей в живых остался один мальчик, отброшенный воздушной волной на сотни метров и зацепившийся за вершину крупной лиственницы.

Грунтовые наледи часто бывают причиной деформаций и разрушений крупных инженерных сооружений, построенных на их площади или в непосредственной близости от них.

Как грунтовые, так и речные наледи ближе к весне, когда они достигают максимальных размеров, часто взрываются. При этом звук взрыва по силе не уступает выстрелу из крупного орудия. Автору за время его многолетних работ в Енисейском секторе Арктики часто приходилось и слышать взрывы наледи, и видеть их последствия. При взрыве только одной части семикилометровой Ергалакской наледи в районе Норильска были выброшены глыбы льда до 2—3 т на расстояние до 30—40 м. Можно себе представить, что было бы с людьми, если бы они находились в центре взрыва.

Речка Ергалак выше гигантской наледи, в своем верхнем течении, имеет ширину в среднем всего около 40 м при глубине в среднем 30—50 см. Несмотря на морозы, достигающие в долгую полярную зиму -52°C , этот мелкий водоток в своей верхней половине не только целиком не промерзает до дна, но даже не покрывается льдом, и открытое русло жидкой воды можно наблюдать на этом ручье в течение круглого года. Только на отдельных местах образуются оригинальные снежные перемычки — горбатые мосты, по которым свободно можно перебираться на лыжах с одного берега на другой. Речушка Ергалак питается подземными межмерзлотными и подмерзлотными водами. Поэтому при замере температуры воды на дне русла термометр показывал $+3$ или $+4^{\circ}\text{C}$, а температура воздуха в это время составляла минус 40—50 $^{\circ}\text{C}$.

В районе Норильска самым страшным бедствием является пурга. Сильные ветры дуют со скоростью до 32 м/сек. К счастью, во время пурги, продолжительность которой может быть от 3 до 15 суток без перерыва, температура обычно не опускается ниже -20°C . Пурга переносит громадные массы свежеснеженного снега, заноса одноэтажные строения вместе с коньком крыши так, что после окончания пурги можно наблюдать, как прямо из-под снега то тут, то там клубится дым. Эта же пурга мощными ударами ветра на открытых пространствах тундры спрес-

совывает поверхность снега до твердости асфальта, образуя столь же твердые заструги. Ходить на лыжах по такой поверхности невозможно.

Выше шла речь о различных природных водах, распространенных на земной поверхности. Но прежде чем перейти к описанию природных вод земных недр, кратко остановимся на одном редком природном феномене, свидетелем которого автор был в 1929 г. Это было в Мелитопольском округе, в степях Приазовья. При въезде в село Новая Покровка можно было видеть, как из торчащей из земли и изогнутой под прямым углом трубы била мощная струя воды в высокостоящий длинный деревянный горизонтальный желоб, откуда сливалась в следующий, нижестоящий желоб. И так вода текла по целому ряду установленных друг под другом наклонных желобов. Возле самого последнего обычно стояли лошади и пили воду. Но вот что поражало всегда впервые подъезжавшего к селу путника (особенно в вечернем сумраке, как это было впервые со мной). Вода, изливавшаяся из трубы, на всем протяжении первых лотков полыхала огнем. Создавалось впечатление, что течет горючая жидкость — керосин, и вы в недоумении смотрели, как из нижних лотков . . . ее пьют лошади. Объяснялось это тем, что подземная вода, поступающая из буровой скважины 100-метровой глубины, содержала в растворе горючий газ — метан (CH_4), который выделялся с падением давления на дневной поверхности. Газ поджигался и выгорал, а вода, освобожденная от большей части газа, использовалась для питья.

Мы рассмотрели разнообразные воды поверхностной гидросферы нашей планеты, представленные Мировым океаном, внутренними морями, различными озерами и реками. Все эти водоемы и водотоки имели громадное значение в процессе развития человечества, служили наиболее удобными, простыми и дешевыми путями сообщения, способствовавшими общению людей. Эти же водные массы являются и являлись ранее путями миграции разнообразной фауны и флоры как обитающей в воде, так и некоторой наземной. Более того, течением воды не только в реках, но и в озерах, морях и океанах переносятся громадные массы косной материи, представленной как в форме растворенных ионов, так и плавающих взвесей глины и мелкого песка. Реки, лавины и сели могут передвигать на значительные расстояния крупный щебень, гальку и даже валуны, откладывая их в местах с более

спокойным течением воды. Так, некоторые валуны, весом в несколько тонн, переносились на крупных льдинах по водоемам на сотни километров.

Поверхностные воды Земли являлись, да и сейчас в значительной части являются самыми доступными и близкими человеку. Они еще далеко не все им использованы для своих целей. Но по мере развития человечество (увеличение его численности и рост технической потребности) уже не может удовлетворить себя только поверхностными водами, все чаще и чаще оно начинает обращаться к подземной гидросфере, описание которой мы попытаемся дать в следующем разделе.

Вода в земных недрах

Существует единый источник активности литосферы и мантии. Это, в первую очередь, глубинная вода и другие летучие из мантии.

Лестер Кинг, 1968

Из заоблачных высот и с дневной поверхности нашей планеты мы спустимся теперь в чертог бога подземного мира Плутона *. Характерно, что древние греки связывали имя бога подземного мира с представлением о том, что преисподняя (т. е. земные недра) является источником многочисленных богатств.

Действительно, земные недра являются источником многого, что нужно человеку: металлы и топливо, строительные материалы и пища для растительного мира, воздух и самый драгоценный земной продукт — вода.

И вода в атмосфере, и вода на земной поверхности, образующая Мировой океан, озера и реки имеют своим первоисточником подземные воды, и не просто подземные, а глубинные подземные воды нашей планеты. Но прежде чем говорить о них, необходимо познакомиться с твердым телом нашей планеты, являющимся вместилищем этих вод.

Когда мы говорим о т в е р д о м теле Земли, то применяем это понятие более или менее условно. Дело в том, что твердые земные породы на относительно небольших глубинах (до 5 км) проникнуты и газами, и водой.

* В современной геологической науке слово «плутон» применяется для названия интрузий, т. е. магматических тел, внедрившихся из глубины в литосферу. Плутоническими породами называются глубинные породы.

Мы будем говорить о воде в земных недрах главным образом в планетарном аспекте. В этом случае выпали бы из нашего рассмотрения пресные подземные воды, имеющие для жизни такое большое значение. Эти подземные воды содержатся в ничтожной по своей мощности толще пород в сравнении с толщиной литосферы, не говоря уже о всей планете. Поэтому все же, хотя и немного, скажем и об этих водах.

В составе пород вода может быть связана физически, облекая тончайшей пленкой поверхность частиц породы (эта вода с трудом и лишь частично способна к передвижению в жидком виде; прочно связанная передвигается только в форме пара), или химически, входя в состав кристаллической решетки минералов. И та и другая вода может быть выделена при повышении температуры. При выделении физически связанной воды состав минерала не изменяется, а при выделении химически связанной воды (так называемой конституционной воды) происходит разложение минерала. Что касается свободных вод, то они могут быть капиллярными, заполняющими частично или полностью пустоты размером от 0,0001 до 1 мм в диаметре, или гравитационными, подчиняющимися земному притяжению и способными просачиваться и передвигаться под действием силы тяжести.

Такая характеристика вод справедлива только для сравнительно небольших глубин литосферы (менее 4—5 км), где давления и температуры сравнительно низки (давления менее 300 атм, а температуры менее 400—500° С). На больших глубинах связанные (даже прочно химически связанные) воды становятся свободными.

Как известно, критическое состояние для химически чистой воды наступает при давлении 217,5 атм и температуре 374° С. При этом различия между жидкостью и паром исчезают, скрытая теплота парообразования и капиллярная постоянная обращаются в нуль. Для крепких рассолов указанные значения давления и температуры выше.

При сверхкритических условиях растворимость многих веществ в воде возрастает до значительных размеров. Например, обыкновенная поваренная соль при комнатных условиях растворяется предельно в количестве 375 г в 1 кг воды, при температуре 500° С и давлении 10 000 атм может быть растворена в количестве 561 кг в 1 кг воды, т. е. при данных условиях вес растворенной соли будет в 561 раз больше веса растворителя — воды.

В большинстве гидрогеологических учебников можно часто прочесть, что по мере углубления в земные недра скважность пород (их пористость и трещиноватость) быстро убывает и в конце концов исчезает. Действительно, уменьшение скважности наблюдается до сравнительно небольших глубин, но с глубины примерно в 5 км проницаемость пород для жидкостей должна возрастать. Здесь речь идет не столько о глубинных разломах, которые уходят даже в верхнюю мантию, сколько о понятии проницаемости жидких растворов и расплавов, т. е. флюидов.

Остановимся на термине «флюид», происходящем от латинского слова «флюидус», что значит «текущий». Четкого понимания того состояния водного раствора или содержания воды в расплаве, которое может быть названо флюидом, пока нет, так как наши представления о физико-химических и термодинамических условиях в недрах Земли на глубинах, превышающих 10 км, еще очень и очень смутны. Поэтому реальный флюид различные ученые определяют по разному: «водная магма» (Д. Ферхуген), «сквозьмагматические растворы» (Д. С. Коржинский), «геологическая плазма» (А. П. Виноградов). Условно примем, что под термином «флюид» будет пониматься жидкое вещество, содержащее воду и находящееся (для воды по признаку давления p и температуры T) в сверхкритическом состоянии.

Совершенно необходимо сказать несколько слов о глубинных разломах. Некоторые из них уходят вглубь на 800 км, а большинство — до основания литосферы, до поверхности Мохоровичича (поверхности Мохо). Длительность существования некоторых глубинных разломов определяется сотнями миллионов и даже миллиардами лет. Эти разломы являются теми путями, по которым поднимаются из мантии или основания литосферы флюиды, превращающиеся в верхах литосферы в насыщенные рассолы, а при некоторых условиях вблизи дневной поверхности — в слабоминерализованный пар.

У основания литосферы (возле поверхности Мохо) средние температуры примерно 800°C *, средние давления — 10 000 атм. Величина электромагнитного поля, хими-

* Между данными некоторых авторов разброс значений очень велик ($368-1385^{\circ}\text{C}$) и зависит не только от субъективности подсчетов и экстраполяций, но также от геоструктурных, геотектонических и гидрогеологических условий.

ческий потенциал и другие энергетические характеристики здесь также весьма высоки по сравнению с наружными слоями литосферы. Иначе говоря, все энергетические потенциалы в глубине литосферы значительно больше, чем возле дневной поверхности. Разность давлений, например, в среднем 286 атм на 1 км глубины, а разность температур 23° С.

Существенным является то, что градиент давления по мере углубления в земные недра резко обгоняет температурный.

Выкристаллизовывается представление о толще литосферы, позволяющее уподобить ее некоторой «тепловой машине», расходующей энергию в частности на механические процессы дифференциации (разделения) вещества и перенос его снизу вверх.

Может возникнуть такой вопрос: а почему не сверху вниз?

Известно, что температура может передаваться от теплого или горячего к холодному, но не наоборот. В равной мере легко себе представить передвижение жидкости или газа от области с большим давлением в область с меньшим давлением, но не наоборот. А так как температура и давление внизу литосферы больше, чем сверху, то естественно ожидать передвижения флюида, рассола, раствора или газа снизу вверх, а не сверху вниз. Южноафриканские шахтеры получают увечья или погибают чаще в результате «падения» породы вверх (от пола шахты к ее потолку), так как при снятии давления сверху начинает действовать давление из глубины земных недр.

Лишь как исключение, в особых условиях, возможен процесс движения от холодного к теплему. Например, в совершенно замкнутой системе при условии обратной разности давления (рис. 28). В природе все системы открыты, и если возможно возникновение замкнутой системы, то только на очень короткий в геологическом масштабе времени срок.

Так же протекает и диффузия, связанная в основном с разностью химических потенциалов — концентраций рассолов, когда ионы передвигаются от большей концентрации к меньшей. Подобное передвижение должно происходить снизу вверх, так как в общем случае концентрация внизу больше, чем сверху.

Под действием высокой температуры и высокого давления на глубине в первую очередь будут передвигаться

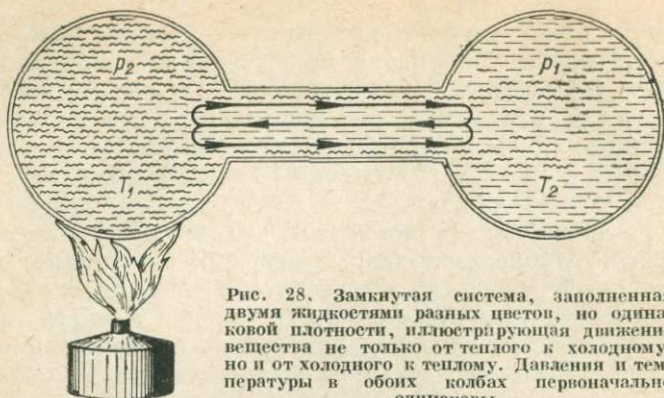


Рис. 28. Замкнутая система, заполненная двумя жидкостями разных цветов, но одинаковой плотности, иллюстрирующая движение вещества не только от теплого к холодному, но и от холодного к тепловому. Давления и температуры в обоих колбах первоначально одинаковы.

радиально вверх не все элементы или их соединения, а более летучие, легкие и легкоплавкие. Более тяжелые, тугоплавкие и менее летучие будут оставаться на глубине. К летучим и легким элементам относятся главным образом элементы периодической системы от № 1 (водород) с атомным весом 1 до № 20 (кальций) с атомным весом 40. Разумеется, в верхней мантии и в нижней литосфере эти элементы находятся между собой в различных соединениях, а последние образуют различные породы различной легкоплавкости.

Американский металлург В. Г. Пфан еще в 1952 г. предложил производить очистку металла от находящихся в его составе примесей с помощью так называемой зонной плавки. Представьте себе стержень металла, требующего очистки от примесей. Поставим этот стержень вертикально и наденем на него нагревательную спираль, которую будем перемещать снизу вверх со скоростью 25 мм/ч. Возле спирали образуется расплавленная зона, которая будет перемещаться вместе со спиралью. В образовавшейся после расплавления твердой фазе окажется более чистый металл, так как более легкоплавкие примеси путем диффузии переместятся вверх, и, в конечном итоге, нижняя часть стержня будет очищена от легкоплавких, лучше диффундирующих примесей, которые сосредоточатся на верхней половине стержня.

Эффект Пфана через 6 лет, в 1958 г., акад. А. П. Виноградов применил для объяснения процесса выплавления из мантии легкоплавких и легколетучих компонентов по принципу зонной плавки.

Как происходит процесс разделения вещества между мантией и литосферой, сказать уверенно затруднительно, но несомненно одно — более тяжелые и тугоплавкие, но менее летучие вещества слагают верхнюю мантию, а вещества с противоположной характеристикой — литосферу, причем в нижних ее частях более тяжелые и плотные породы (базальты), а в верхних более легкие и менее плотные — граниты. К наиболее летучим веществам принадлежит наряду с газами и вода, которая пронизывает толщу литосферы. Вода при высоких и сверхвысоких температурах и давлениях обладает большой растворяющей способностью, и потому естественно ожидать на больших глубинах сверхкрепкие рассолы и расплавы.

По мере продвижения подобных флюидов в более высокие горизонты из них будут выпадать, выкристаллизовываться, различные минеральные образования, что объясняется падением температуры и давления.

Но многие минералы содержат связанную воду (см. стр. 50—51). Она подчас входит даже в состав их кристаллических решеток. Таким образом, одновременно с выпадением из раствора минералов будет расходоваться и часть воды. Этот процесс носит название г и д р а т а ц и и. Обратный процесс, который протекает при нагревании минералов и вызывает выделение из них воды, носит название д е г и д р а т а ц и и. Процесс гидратации минералов, как мы увидим в дальнейшем, имеет очень существенное значение в формировании химического состава подземных вод.

Всю толщу литосферы материков по характеру движения воды схематически можно разделить на две крупные, но неравные части. В нижней, большей, части примерно с глубины 5 км от поверхности и до подошвы литосферы, т. е. до средней глубины 35 км (но не глубже 65—70 км), преобладает движение водного флюида или водного раствора снизу вверх (радиально).

В верхней половине литосферы возможна круговая динамика растворов, хотя все же движение снизу вверх и здесь является преимущественным в большей части толщи, и только в самой верхней части, порядка первого километра глубины, оба движения примерно равноценны.

Мы говорили о движении воды вверх и вниз, но возможно и движение, близкое к горизонтальному. Круговая динамика, естественно, должна включать и все виды движения по наклонным путям.

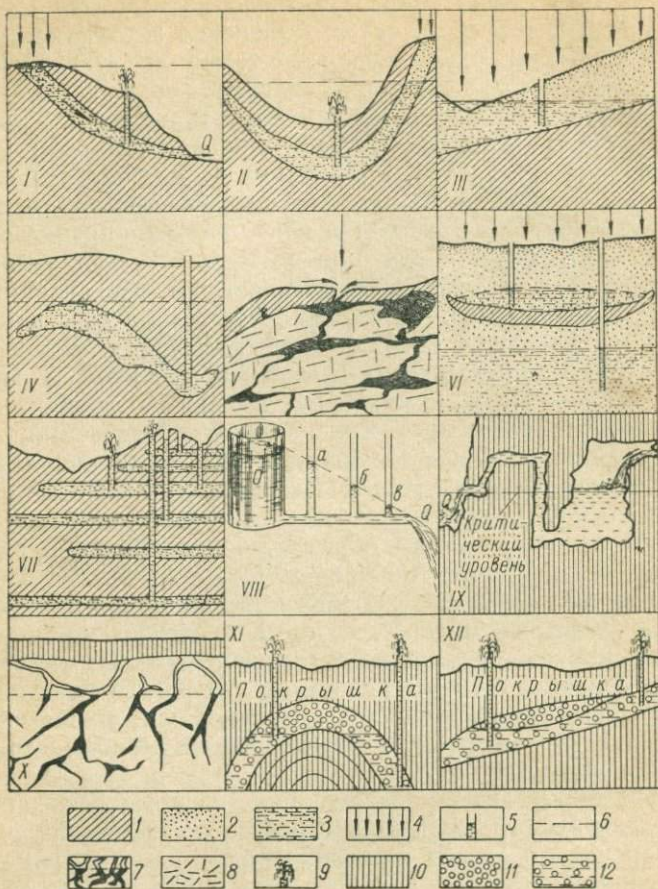


Рис. 29. Некоторые формы залегания неглубоких подземных вод в осадочных отложениях верхних горизонтов литосферы.

I — напорный водоносный горизонт (*Q* — источник); *II* — типичная схема залегания артезианского водоносного горизонта; *III* — свободный водоносный горизонт грунтовых вод; *IV* — замкнутая линза водоносных песков; *V* — карстовые подземные воды; *VI* — подвешенная линза водоносных пород на линзе водоупорных пород, ниже — свободный водоносный горизонт; *VII* — шесть напорных водоносных горизонтов, на пяти из которых пробурены скважины (с углублением забоев наблюдается тенденция возрастания напоров); *VIII* — прибор, моделирующий гидрогеологические условия напорных вод (*Q* — источник; *a*, *b*, *v* — соответствуют различным напорам между областью питания *O* и местом разгрузки *Q*); *IX* — схематический разрез периодически действующего источника (когда уровень упадет ниже критического, излив воды из *Q* прекратится); *X* — трещины изверженных пород, перекрытых суглинистыми наносами (штриховая линия — уровень воды в трещинах); *XI*, *XII* — некоторые формы залегания подземных вод, напоры которых обусловлены подземными залежами свободного газа, находящегося под покрывной и оказывающего давления на воду.

1 — водонепроницаемые породы; *2* — водопроницаемые породы; *3* — водоносные породы; *4* — атмосферные осадки над областью питания водоносных

Каким же способом происходит передвижение подземной воды в породах, слагающих литосферу? Способов много, но главных, о которых мы скажем, три: флюация, фильтрация и диффузия.

Ф л ю а ц и е й называется «вливание» воды в какую-либо емкость в породах. Например, в известняках или гипсах в результате выщелачивания образовалась воронка, которая продолжается вглубь многочисленной-системой трубок, каналов, каверн и пустот, иногда даже пещер, тоже выщелоченных водой в известняке. Стекающая с дневной поверхности дождевая или талая снеговая вода через эту воронку будет проникать в известняки путем флюации. Флюация происходит преимущественно под влиянием силы тяжести (рис. 29, V).

Ф и л ь т р а ц и е й называется просачивание воды по мелким порам породы. Например, дождевая вода таким способом проникает в песок. Фильтрация протекает под влиянием силы тяжести (гравитации), а также может происходить в сторону снижения давления и температуры (рис. 29, I, II). Фильтрация может происходить и снизу вверх под влиянием давления пород, газов или флюидов. Что касается скоростей фильтрации, то они больше, чем при диффузии, и зависят от скважности, пористости пород, вязкости раствора, температуры, давления и целого ряда других условий.

Д и ф ф у з и я — это процесс, главным образом химический, он сводится к передвижению раствора с большей концентрацией в сторону раствора с меньшей концентрацией. Это сложный процесс, во многом зависящий от температуры и давления. Скорости хотя и невелики, но все же реально ощутимы в геологическом разрезе времени. Так, например, по данным акад. Д. С. Коржинского [1969], для калия при температуре 500° С концентрация раствора при диффузии сравняется на 50% на расстоянии 125 м за 50 000 лет. Такой срок в геологическом масштабе времени ничтожен, а расстояние для литосферы значительно.

В самых верхних горизонтах литосферы (до глубин 3—5 км) подземные воды могут содержаться в водопрони-

пород; 5 — буровые скважины (зачерненный ствол — вода); 6 — уровни воды (высота напора); 7 — карстовые трубки, каналы и полости (зачерненные пустоты — вода); 8 — карстующиеся породы (известняки, доломиты, гипсы, соль); 9 — самоизлив напорных вод из скважин; 10 — труднопроницаемые покрывки (глины); 11 — газ в свободном состоянии, заполняющий скважность пород; 12 — подземная вода, насыщенная растворенным газом.

цаемых пористых пластах (пески, песчаники, супеси), в трещинах мало- или слабопроницаемых пород (изверженных, метаморфических) и в каналах, трубках, полостях закарстованных * пород (известняков, доломитов, соли).

Помимо указанных причин, подъем воды может происходить также и вследствие эндотегенных ** движений флюидов с больших глубин. Энергия глубинных недр проявляется на лике Земли не только вулканическим путем, но также выходом горячих ключей — гидротерм, парогидротерм, гейзеров, холодных углекислых «гейзеров», грязевых сопок и т. п.

В ранние эпохи геологической истории вулканические процессы были развиты значительно сильнее. Эндотегенные (идущие из глубины) воды, по мнению одних ученых, составляют 30% (Долина Гейзеров, Паужетка и др.), по мнению других, этот процент ниже — 5—10.

Плотность эндогенного пара на глубине около 1 (почти как у жидкой воды).

Восходящие гидротермальные растворы, достигающие дна Мирового океана, способны питать его осадки минеральным веществом, приводящим к возникновению подводных гидротермальных месторождений различных руд, многие из которых в настоящее время поднялись из-под толщи океанических вод и находятся на современной суше.

Поднимающийся водный флюид при выпадении из него минералов, их кристаллизации и в результате выделения при этом тепла может приводить к возникновению давлений на вышележащие породы. Эти давления могут во много раз превосходить те, которые возникают при вулканической деятельности, это подчеркивалось целым рядом американских ученых.

Ф. А. Макаренко еще в 1947 г. подчеркивал, что в сравнении с поверхностным стоком (главным образом рек, о которых речь была выше) подземный сток — процесс

* Карст — совокупность явлений, связанных с деятельностью воды и выражающихся в растворении и выщелачивании горных пород с образованием в них трубок, пустот, пещер, а на поверхности своеобразных провальных форм рельефа (воронки, колоды, карры, поля, слепые и мешкообразные долины и т. д.).

** Эндогенные процессы — это процессы, протекающие внутри земных глубин, а эндотегенные — процессы, движущиеся изнутри и связанные с привнесением вещества и энергии из глубоких частей земной коры и верхней мантии.

несоизмеримо более крупный. Количество вод, находящихся одновременно в состоянии подземного стока, превышает в сотни раз количество всех поверхностных вод суши.

Как образовалась вода Земли

Не было ничего . . . Поверхность Земли тогда еще не появилась. Было только холодное море и великое пространство небес.

Из священной книги племени индейцев киче «Пополь-Вух»

Согласно наиболее распространенной современной гипотезе, Земля образовалась за счет сгущения холодного газо-пылевого облака, состав которого мы условно принимаем близким к составу каменных метеоритов, содержащих в среднем около 0,5—1% воды. Это позволяет полагать, что образование воды внутри Земли и на ее поверхности должно быть связано с образованием наружных геосфер. А так как указанный процент воды составляла вода, находящаяся в связанном состоянии в породах, аналогичных каменным метеоритам, то нужна была какая-то энергия, которая выделила бы, извлекла эту связанную воду и сделала бы ее свободной.

В равной мере нужна была энергия и для разделения вещества каменных метеоритов при образовании различных по составу земных оболочек — геосфер, к одной из которых принадлежит и гидросфера как подземная, так и наземная (поверхностная).

Какая же энергия могла выполнить такие сложные и грандиозные по своим планетарным масштабам задачи? Начальная энергия, определявшая момент количества движения или вращения самого газо-пылевого облака, нам неизвестна, но, отталкиваясь от этой неизвестной, можно строить различные гипотезы, подлежащие математическим доказательствам. При сгущении газо-пылевых частиц и образовании протопланеты Земля часть механической энергии превращалась в тепловую. Сжатие объема Земли было также источником разогрева, но последние расчеты не позволяют допустить повышения температуры вещества Земли от указанных причин более чем на несколько сотен градусов, которые хотя и не могли привести к выплавлению каменного материала, но были достаточны для выделения части связанной воды.

В настоящее время большинство ученых (хотя далеко не все) придерживаются взгляда на решающую роль радиоактивного тепла, полученного в результате радиоактивного распада урана, тория, калия-40 и некоторых других элементов. Вероятно, на ранней стадии возникновения Земли этого радиоактивного тепла вырабатывалось примерно раз в десять больше.

Распределение радиоактивных элементов, по имеющимся данным, в массе Земли очень неравномерно. Предполагается, что в ядре, состоящем из железа, никеля и кремния, количество радиоактивных элементов ничтожно. Также мало их и в самой мощной оболочке Земли — мантии, больше всего в литосфере — в базальтах и гранитах.

Но, конечно, если стоять на точке зрения радиоактивного разогрева как главного источника тепловой энергии нашей планеты, то нельзя не учитывать вероятного накопления тепла с начальной стадии разогрева и сохранения части его до наших дней.

Предполагается, исходя из данных А. П. Виноградова, что образуемая энергия радиоактивного распада имеет своим источником главным образом калий-40 и предполагаемый запас сохранившегося тепла от более ранних периодов существования нашей планеты.

Необходимо оговориться, что имеются и другие внутренние источники тепла:

1) метасоматоз — замещение одних минералов или горных пород другими с изменением химического состава под влиянием расплава или раствора без изменения твердого состояния породы;

2) минералобразование — выпадение из раствора в осадок различных минералов;

3) взаиморастворение — крепкие рассолы при подъеме из глубины могут встретиться с вышележащими пресными водами. Вспомните, как выделяется тепло, если вы в воду наливаете спирт или серную кислоту;

4) гидратация — вхождение воды в состав вновь образующегося минерала (см. стр. 50—51);

5) окислительные химические процессы, связанные с обогащением вещества кислородом (принцип горения), происходящие в приповерхностных зонах литосферы (не глубже 5 км), а также и на значительно больших глубинах;

6) ротационное тепло, т. е. тепло, выделяющееся под влиянием вращения Земли, вследствие неоднородного распределения по плотности вещества литосферы и верхней мантии и изменения (убыстрение и замедление) ско-

рости вращения (ротации). При этом происходит трение отдельных блоков, слагающих наружные оболочки Земли, друг о друга, и механическая энергия может переходить в тепловую. По вычислениям некоторых ученых, выделяемое при этом тепло в 4 раза больше возможного радиогенного тепла, о котором шла речь вначале.

Все перечисленные источники тепла (кроме радиоактивного распада) в сумме сопоставимы с радиогенным теплом, и поэтому безоговорочное утверждение о безусловном превосходстве одного только вида тепла над всеми остальными пока преждевременно. Вообще вопрос об энергии Земли является в современной геологии совершенно неразрешенной, но, несомненно, очень важной проблемой.

Во всяком случае, можно утверждать, что водный флюид, водный рассол и раствор являются главными теплоносителями или транспортерами тепловой энергии недр Земли, подобно водяному отоплению.

Очаги, выделяющие по той или иной причине тепло, в земных недрах являются в то же время одной (хотя и не единственной) из причин местных аномальных повышений давлений, так как всякий нагрев связан, как правило, с расширением вещества.

Мы несколько отклонились от темы данного раздела и остановились на рассмотрении вопроса о внутреннем земном тепле, имеющем глубинное происхождение потому, что оно во многом связано с движением подземных вод снизу вверх в большей части толщи литосферы.

Выплавление, дегазация, дефлюидизация, выделение связанной воды — ведь все эти процессы протекают, если и не исключительно, то в значительной степени под влиянием глубинного тепла. Вода выделяется из расплавов, в которых она растворена в недрах Земли и откуда вытекает тем или иным способом на дневную поверхность, образуя поверхностные воды (океаны, моря, озера и реки), а испаряясь, попадает в атмосферу, образуя пары и туманы, о которых мы говорили ранее.

Первичный океан, вероятно, покрывал всю или почти всю планету и при этом глубина его, как и мощность самой литосферы, были относительно современных очень незначительны (рис. 30).

Активность земных недр, интенсивность поступления из них воды на поверхность, влияние магмы с отторжением от нее воды — все эти природные акции молодой планеты характеризовались большой энергетической напряженностью.

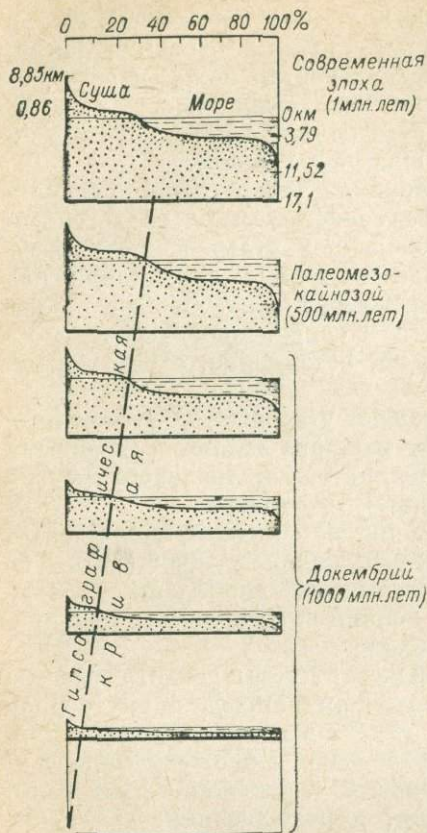


Рис. 30. Схема предполагаемых изменений высот суши, глубин океана, гипсографической кривой и глубины поверхности Мохоровичича за последние 1,5 млрд. лет.

(Из книги Г. Н. Каттерфельда, 1962).

Высота суши, км: 8,85 — наибольшая; 0,86 — средняя; глубины, км: 3,79 — средняя океана; 11,52 — наибольшая океана; 17,1 — средняя поверхности Мохоровичича.

У нас нет достаточных фактов о начальной, догеологической, стадии становления нашей планеты.

Первичное мелкое море должно было быть скорее горячим или теплым, чем холодным. Отделение связанной воды могло происходить при температуре, во всяком случае, более 100° С. Изливавшаяся из глубин и выделявшаяся из базальтовой

магмы вода, естественно, понижала свою температуру, но не настолько, чтобы ее можно было назвать холодной.

При движении магматического флюида вверх по каналам литосферы с понижением температуры и давления будет происходить в основном не поглощение воды по пути, а наоборот, отделение и гидротермальных растворов.

При выплавлении базальтов* с сопутствующей серпентинизацией** поглощается, т. е. химически связывается,

* Базальт — черная или темно-серая порода, преимущественно состоящая из алюмосиликатов группы полевых шпатов. Базальтовые породы слагают большую часть литосферы океанической и нижнюю часть континентальной.

** Серпентинизация — процесс изменения химического состава магматических бесполовошпатовых (ультраосновных) пород путем автотермического выщелачивания и образования богатых магнием серпентинитов.

$\frac{1}{4}$ (по весу базальтов) эндотегенной воды, поступающей из мантии. Таким образом, только в результате одного этого процесса оставшийся водный флюид повысит свою минерализацию примерно на 25%.

Образование Мирового океана, как показано на рис. 30, происходило параллельно с образованием континентов (суши). По мере роста суши и утолщения литосферы углублялся океан и уменьшалась его площадь. Возможно, вся Земля была окутана густыми облаками (подобно тем, что окружают Венеру), из которых выпадал обильный дождь.

Магма может содержать при давлении около 9000 атм и температуре 1200° С около 18 вес. % воды. Эти данные получены экспериментально Институтом геохимии им. В. И. Вернадского АН СССР. По нашим подсчетам, среднее количество всей воды (свободной и связанной), содержащейся в литосфере (континентальной и океанической), 10,4 вес. %. По наблюдениям и анализам многих авторов за последние 20 лет, магма из различных вулканов содержала от 5 до 12% воды, что, таким образом, не противоречит нашим подсчетам.

Каков был состав первичного мелкого Мирового океана, мы не знаем, но вероятнее предполагать, что вода была высокоминерализованной и соленой, так как она выделялась вместе с расплавами, газами, парами и дымами при повышенной температуре и обладала, естественно, высокой растворимостью.

Если возраст литосферы определяется в настоящее время примерно в 4,5 млрд. лет, то первое появление островов суши, вероятно, началось около 3 млрд. лет назад.

Появление первой пресной воды обязано испарению ее из океана и выпадению из облаков в форме дождя, но только после становления атмосферы из первичной углекислой в современную кислородную, т. е. после появления жизни, и в частности растений, которым и обязана существованием наземная современная кислородная атмосфера. Растения поглощали углерод углекислоты (CO_2) и выделяли ее кислород.

Однако фотосинтез растений является не единственным источником кислорода в атмосфере Земли. По мнению калифорнийского ученого Р. Т. Бринкмана, 25% существующего в настоящее время кислорода было уже сформировано в атмосфере задолго до фотосинтеза за счет воды, разлагавшейся в верхней атмосфере под влиянием ультрафиолетовых лучей Солнца на водород и кислород. Если

первый мог в значительной части диссипировать в пространство, то второй мог сохраняться в земной атмосфере. Этот процесс протекает и в настоящее время.

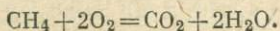
После возникновения атмосферного круговорота воды (испарения с поверхности океана, конденсации паров в атмосфере в облака и выпадения пресной воды) мог возникнуть постепенно и подземный круговорот воды, медленно, по мере роста толщи литосферы, углублявшийся в нее и достигший современного максимума на глубину порядка 3—5 км от дневной поверхности.

Таким образом, первичная форма воды нашей планеты принадлежит к химически связанной в веществе типа каменных метеоритов. Под влиянием высокой температуры вода превращалась постепенно в свободную и радиально перемещалась (при выплавлении и дегазации земных геосфер) снизу вверх, изливаясь на поверхность Земли.

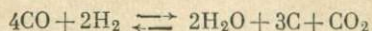
Этот рост количества воды и мощности твердой литосферы продолжается в настоящее время. Уровень Мирового океана за тысячелетие повышается примерно на 1 м (1 мм в год).

Вода, впервые поступающая в наружные части литосферы из ее глубин, получила название ювенильной. Еще в 30-х годах акад. В. И. Вернадский справедливо писал, что «этот термин, кроме произвола и путаницы, ничего не вводит в наши знания». «Ювенилис» в переводе с латинского — юный, девственный. Действительно, впервые возникающая вода не должна быть обязательно водой, образованной в глубинах Земли, и рождаться из магмы, в понимании Зюсса. Новые молекулы воды могут появляться повсюду. Так, в верхней атмосфере возможен синтез воды за счет корпускулярного потока солнечного ветра, когда из атомов водорода и кислорода возникают молекулы H_2O . При сгорании в атмосфере метеоритов, как при всяком горении (окислении), тоже возникает вода. Это происходит также на поверхности Земли. При гниении, разложении органики возникают молекулы воды.

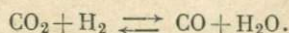
При сгорании углеводородного топлива самолетов, особенно реактивных, образуется долго сохраняющийся «хвост» из капелек воды, парящих в воздухе. Это тоже своего рода «ювенильная» вода, получающаяся по следующей принципиальной формуле:



Реакция синтеза воды может происходить и на значительных глубинах под влиянием высоких температур при взаимодействии окиси или двуокиси углерода с водородом:



или



Существует гипотеза о поступлении масс воды, никогда не участвовавших в земных круговоротах, за счет падения на Землю ледяных ядер комет. По этой гипотезе солнечная система окружена гигантским облаком комет. По подсчетам некоторых английских ученых, только за первые 2 млрд. лет астрономического периода Земля захватила с кометами 10^{16} г их вещества, т. е. в переводе на объем это составит всего 4 км^3 различного материала, включая и воду. Однако частичный захват вещества мог происходить еще и при близком прохождении комет около Земли.

Кроме того, прямые столкновения, безусловно, были и за 4,5 млрд. лет геологического времени существования Земли. Эта гипотеза, предложенная голландским астрономом Я. Оортом, поддерживается нашим астрономом Б. Ю. Левиным, который считает, что таким же способом поступали на Землю и другие летучие, в том числе и углеводороды. Но все же этого количества недостаточно для образования сколько-нибудь ощутимо весомой части гидросферы.

Но если учесть еще и другую приходную статью поступления космической воды — из метеоритного и пылевого материала, — то это составит около 28 объемов Балтийского моря ($821\,000 \text{ км}^3$). Если учитывать только продолжительность геологического периода Земли, то это в среднем в сутки составит 500 м^3 , т. е. куб со стенками длиной около 8 м. Разумеется, мы условно и совершенно произвольно приняли равномерность поступления материала из космоса, что едва ли было в действительности.

Этот расчет иллюстрирует, как ничтожное во времени в человеческом понимании становится крупным в геологическом масштабе времени.

Говоря об образовании и происхождении воды, мы должны г л а в н о й приходной статьей признать земные глубины — мантию, а добавочными — космос, атмосферу, земную поверхность и неглубокие земные недра.

Сколько воды на Земле и какой?

Сложность изучаемых в гидрохимии явлений такова, что они во всякую эпоху научного развития выходят за пределы современной им физики и химии. Так будет и дальше.

В. И. Вернадский, 1960

Каменные метеориты, как аналоги земного вещества, содержат в среднем 0,5—1% воды. Если взять нижний предел, т. е. 0,5% воды, то исходя из массы Земли, равной $6 \cdot 10^{27}$ г, получим массу воды $3 \cdot 10^{25}$ г, или 30 млрд. км³ ($3 \cdot 10^{10}$ км³). Столько воды, вероятно, было минимально на протопланете Земля. Но после разделения вещества Земли на геосферы легкоплавкая и легколетучая вода была отжата, выплавлена, большая ее часть была удалена из современного плотного ядра в мантию, а оттуда частично в литосферу, на поверхность планеты и в атмосферу. Надо также считаться с возможностью потери воды Земли в межпланетное пространство за 4,5 млрд. лет.

Если подсчет воды на поверхности планеты и в наземной атмосфере не представляет непреодолимых трудностей и может быть сравнительно легко произведен исходя из замеров рельефа дна океанов, морей и озер и их площадей, а также длины, ширины и глубины водотоков, то подсчет подземной воды значительно сложнее.

Последний наиболее точный подсчет объема и массы поверхностных вод и вод атмосферы был опубликован американским ученым А. Польдервартом в 1955 г. (табл. 6).

За последнее столетие неоднократно подсчитывался объем подземных вод. В табл. 7 даны результаты подсчетов за последнее столетие.

У читателя, естественно, возникнет вопрос: что кладут в основу таких подсчетов? Подсчет должен прежде всего исходить из общих геологических представлений о всей толще литосферы, если за нижнюю границу ее принимать поверхность Мохоровичича. Полная мощность литосферы, судя по данным табл. 7, была принята только в двух под-

Поверхностные воды Земли

Местонахождение вод	Общий объем, 10^6 км ³	Общая масса, 10^{15} т
Мировой океан	1370	1420
Озера и реки	0,5	0,5
Ледники*	35,3	35,3
Атмосфера	0,013	0,013
Всего	1405,8	1455,8

* Мы ввели в цифры А. Польдерварта поправку на объем и массу льда (в пересчете на воду), которая в настоящее время уточнена и увеличена с 22 у Польдерварта до 35,3, млн. км³ и $35,3 \cdot 10^6$ т.

Различные попытки подсчета подземных вод Земли

Годы	Кем выполнен подсчет	H ₂ O, 10^{19} см ³	Объем учтенной литосферы, 10^{23} см ³	Мощность литосферы, км	Процент H ₂ O от учтенного объема литосферы
1861	Далесс	0,000120	?	?	?
1902	Слихтер	0,000050	?	?	?
1906	Фулер	0,000002	?	?	?
1935	Вернадский	40 000	47,0	20	8,5
1948	Макаренко	8400	9,8	5	8,6
1955	Кали и Польдерварт	84 000	82,4	35/4,7*	10,2
1963	Дерпгольд	105 000	82,4	35/4,7*	12,7

* В числителе — континентальная литосфера; в знаменателе — океаническая.

счетах — за 1955 и 1963 гг., когда объем учтенной литосферы был принят полностью. Далее необходимо отметить процент пористости различных пород на различных глубинах, а также количество не только свободной, но физически и химически связанной воды.

Средняя величина пористости для осадочных пород 12,8%, а для кристаллических — 1,7%. Среднее содержание всех связанных вод 3,56% от веса пород. Таким образом, общее количество воды на Земле (поверхностной и подземной до глубины поверхности Мохоровичича) $2,5 \cdot 10^{24}$ г, или 10,4% от веса литосферы, количественная характеристика которой дается в табл. 8.

Таблица 8

Характеристика литосферы по весу

Наименование	Вес		Наименование	Вес	
	10^{24} г	вес, %		10^{24} г	вес, %
Осадочная толща Кристаллические породы	1,47	6	Океанический тип Континенталь- ный тип	4,02	17
	22,19	94		19,64	83
Вся литосфера	23,66	100		23,66	100

Трудность подсчета содержания воды в породах легко объяснима, если учесть большое разнообразие пород и содержания воды у одной и той же породы в разных условиях температуры и давления. Например, химически связанная вода в известняках содержится в количестве 0,8%, в песчаниках — 1,6%, в сланцах и глинах — 5%, в некоторых изверженных породах — 1,2%, и в то же время хлориты так же, как и серпентины, содержат ее до 12%, а, например, тальк — 4%.

Физически связанная вода присутствует в кварцевом песке в количестве 0,2%, в валунных суглинках — 3—23%, в мусковите — 36%, в альбите — 8%, а межслоевая вода (между пакетами кристаллических решеток) — в монтмориллоните, вермикулите и галлуазите в количестве более 100%. Многие минералы содержат только физически связанные воды. Связанные воды начинают выделяться при температуре 100°C и выше (до 1200°C).

Но трудности подсчета содержания воды в породах этими причинами далеко не ограничиваются. В нижней части литосферы в условиях сверхвысоких давлений и температур, когда вода переходит через свою критическую точку и когда все или значительная часть физически и химически связанных вод представляются сво-

Количественная характеристика подземной гидросферы

Воды	Объем, 10^{23} см ³	Вес	
		10^{23} г	%
Все подземные	10,5	10,7	100
В том числе:			
океанического типа литосферы	1,8	1,8	17
континентального типа литосферы	8,7	8,9	83
В том числе:			
осадочной толщи	1,9	1,9	18
кристаллических пород	8,6	8,8	82

бодными, определение процентного содержания воды может вытекать только из гипотетических предпосылок, в основу которых кладутся геохимические и геофизические данные и экспериментальные работы, моделирующие условия высоких давлений и температур.

Вот к какому результату привел наш подсчет подземной гидросферы (табл. 9, рис. 31).

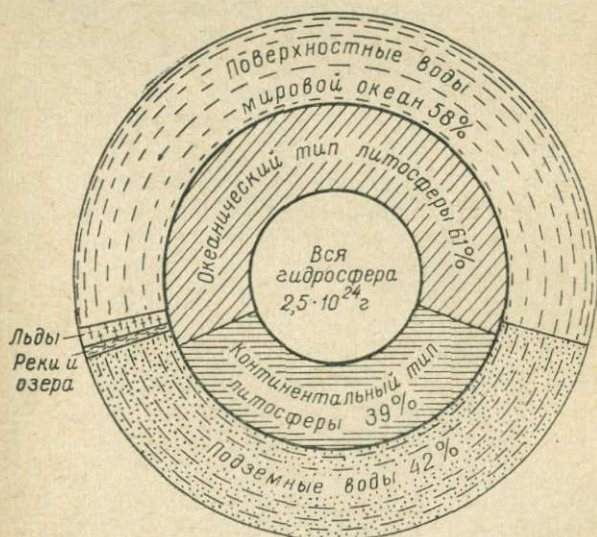


Рис. 31. Разделение гидросферы Земли на подземную и поверхностную, а последней на льды, воды Мирового океана, рек, озер. Кроме того, вся гидросфера делится на океанический и континентальный типы литосферы.

После сухого изложения ряда цифровых значений попробуем на их основе построить более доходчивую для читателя картину подземного водного царства.

Разделим подземную гидросферу на два этажа. Высота верхнего этажа (суши) 20 км. Если вверху температуры и давления близки к привычным для нас, то в основании температура около 560°C , а давление около 6 тыс. атм. Верхний этаж литосферы представлен преимущественно гранитами. Только самая крыша сложена осадочными породами (мощностью менее 1 км). В осадочную толщу входят в основном сланцы и глины (83% всех осадочных пород), а также песчаники, известняки и др. (17%).

Общая масса свободной гравитационной воды, т. е. подчиняющейся силе земного притяжения, $1,5 \cdot 10^{23}$ г, или 150 млн. км³. Чтобы реально представить себе эту величину, надо вообразить куб, длина стороны которого равна 540 км, т. е. немногим менее расстояния между Москвой и Ленинградом. Объем этой воды можно сравнить с объемом второго по величине астероида — Паллада (см. рис. 4). Но это примерно $\frac{1}{3}$ всей воды, так как в породах содержится еще $4,2 \cdot 10^{23}$ г связанной воды, как в форме молекул H_2O , гидроксидов OH^- , так и гидроксония H_3O^+ . Это составит еще 420 млн. км³, т. е. куб, длина стороны которого около 750 км, что почти равно расстоянию от Москвы до Киева. Объем связанной воды близок к объему самого большого астероида — Цереры. Всего же всей воды в верхнем этаже литосферы 570 млн. км³, или куб со стенкой длиной 825 км, что несколько меньше расстояния между Москвой и Хельсинки.

В нижнем ярусе примерно между границей Конрада и поверхностью Мохоровичича (Мохо) возможно существование только свободных вод — $5 \cdot 10^{23}$ г (500 млн. км³), или 47% всей подземной гидросферы. Вся же подземная гидросфера составляет 42% от всей гидросферы Земли (подземные + поверхностные воды). Вся гидросфера содержит 2,53 млрд. км³ воды, что можно представить в виде куба со стороной немногим большей 1350 км, что почти равно расстоянию от Парижа до Варшавы, а по объему — только в 2,7 раза меньше объема Луны и составляет 0,23% объема твердого тела нашей планеты. Такова количественная оценка природных вод наружных оболочек нашей планеты не г л у б ж е поверхности Мохо.

Но нас, естественно, интересует и качественная характеристика воды Земли, ее химический состав. Большинству людей приходится иметь дело с пресной водой, т. е. водой,

в 1 л которой содержится меньше 1 г растворенных веществ. Вода с большим количеством растворенного вещества называется минерализованной. Если в 1 л воды растворено более 50 г вещества — это рассол. Рассолы при высоких температурах переходят в расплавы. При комнатной температуре в воде может быть растворено значительное количество некоторых веществ, например сахара, т. е. может быть получен искусственный раствор. В природных растворах такие случаи возможны лишь при сверхкритических температурах и давлениях. Так, например, практически очень малорастворимый кремний (в океане он растворен в среднем около 3 мг/л) возле поверхности Мохэ может быть растворен в любых пропорциях при давлении около 10 тыс. атм (10 кбар) и температурах, близких к 1000° С.

Особенно способствует растворимости присутствие хлористого кальция — очень характерного компонента для подземных вод больших глубин. Хлористый кальций (CaCl_2) знаком нам как вещество, жадно впитывающее воду и потому часто устанавливаемое в стаканах между рамами, чтобы стекла зимой не замерзали.

Говоря о химическом составе воды, нам придется, как и при подсчете количества воды, ориентировочно, по границе Конрада, разделить литосферу на этажи. Для континентов нижний этаж находится на глубине около 20 км (для разных мест эта величина может колебаться).

С поверхности в породах обычно распространены пресные воды, получающие питание за счет атмосферных вод (дождя, снега и пара — наземная и подземная роса) в результате инфильтрации и отчасти флюэации воды сверху вниз. Средняя глубина распространения пресных вод для континентов Земли около 150 м от поверхности, хотя известны случаи, когда эта граница выходит на дневную поверхность (излияние минерализованных вод) или опускается до 2 км (последнее бывает очень редко).

Говоря о химическом составе природной воды (пресной или минерализованной) и вспоминая нашу классификацию природных вод (см. гл. I, деление вод на 3 класса и 12 групп), следует прежде всего заметить, что к самой редкой воде поверхности литосферы относится пресная вода, которая едва составляет около 2% всех поверхностных вод. Примерно то же следует сказать и о подземной свободной воде верхнего этажа литосферы. Не удивительно, что человечество стоит перед назревающим голодом в пресной воде.

Большую часть среди пресных вод составляют воды гидрокарбонатные, подчиненное положение занимают сульфатные и хлоридные. Что же касается вод минерализованных и рассольных, то они более чем на 99% принадлежат к классу хлоридных. При этом минерализованные хлоридные поверхностные воды относятся к натриевой группе, т. е. к водам, содержащим поваренную соль, а подземные минерализованные рассольные хлоридные воды — как к натриевой, так и к кальциево-магниевым группам, реже к калиевой.

Чем же объяснить такое резкое (почти монопольное) преобладание хлоридных минерализованных вод?

Было время (а для некоторых гидрогеологов оно и сейчас еще не прошло), когда объясняли минерализацию вод океана и суши, включая и подземные воды, только выщелачиванием и растворением водой солей, содержащихся в горных породах. В этом случае предполагалось, что пресная вода облаков, выпадая в виде дождя и снега на Землю, проникает в нее. Земля содержит различные химические соединения, которые водой растворяются и через реки выносятся в Мировой океан, а иногда в замкнутые озера, обогащая их минеральным веществом. Пресная вода испаряется в атмосферу, вновь выпадает на Землю, и процесс этого круговорота все время обогащает океан солью (почему-то главным образом поваренной).

Такое объяснение в настоящее время может быть поставлено на один уровень с очень милой своей наивностью польской народной легендой, в которой повествуется, как некий человек получил в подарок маленькую волшебную мельницу и стоило ему сказать определенные таинственные слова, как она начинала выбрасывать перемолотую поваренную соль. Чтобы ее остановить, нужно было произнести другое заклинание. И вот однажды счастливый владелец мельницы (а счастливый мы говорим потому, что соль в древние времена стоила много дороже, чем в наше время сахар) как-то перед обедом запустил свой чудесный аппарат, но память ему изменила, и слова заклинания, которые было нужно произнести, чтобы его остановить, он забыл. А мельница все работала и работала, превращая всю воду на Земле из пресной в соленую. По-видимому, эта мельница где-то все еще работает.

Но, на наше счастье, это только легенда, в которой кое-что есть и от правды, а кое-что ошибочно. Ошибочно прежде всего то, что первоначальный океан был пресным.

Океан всегда был соленым, и пресная вода происходит из соленой, но не наоборот.

Переходя на почву установленных научных фактов, приведем подсчеты, сделанные еще в 1961 г. американским ученым В. В. Рубей. По его данным, воды в верхних оболочках Земли в 130 раз больше, чем должно было бы быть, если исходить из выветривания однажды образовавшейся земной коры, а хлора, например, в 60 раз больше. Откуда же взялись вода и хлор?

Позднее, в 1962 г., крупнейший немецкий океанолог Дитрих подсчитал, что из 100% натрия, содержащегося в породах, в процессе выветривания в океан переходит 66%, а хлора — 6900%, т. е. в 100 раз больше; брома — 1900% (в 30 раз больше); бора — 280% (в 4 раза больше). А вот магния только 11%, калия всего 3%, а кальция и того меньше — 2%, и это несмотря на то, что при 30° С растворимость хлористого кальция на 90% больше, чем хлористого натрия (поваренной соли).

Совершенно очевидно, что хлором, бромом и бором океан обогащается не за счет пород литосферы, а за счет ее недр в верхней мантии. Во всяком случае, весь Мировой океан обладает хлоридно-натриевой, а не какой-нибудь другой минерализованной водой.

Элементарный состав главных компонентов воды Мирового океана представлен в табл. 10. Если отбросить водород и кислород воды, то первое место по присутствию в водах займет хлор, а второе — натрий. Из растворенных в воде элементов первые 8 составляют 99,9% всех растворенных ингредиентов (табл. 10).

Таблица 10

Элементарный состав главных компонентов Мирового океана

Элементы	Содержание		Элементы	Содержание	
	мг/кг	%		мг/кг	%
Хлор	19 345	55,0	Сера	901	2,5
Натрий	10 752	30,6	Кальций	416	1,2
Кислород *	1934	5,6	Калий	390	1,1
Магний	1295	3,7	Бром	66	0,2

* В растворе и в химических соединениях растворенных компонентов.

Все достаточно глубокие скважины, включая и пробуренные в кристаллических породах, вскрыли хлоридные минерализованные или рассольные воды. И вот что характерно. Существует какая-то закономерность в смене химического состава вод. С поверхности могут быть встречены на некоторой глубине пресные или слабоминерализованные гидрокарбонатные или сульфатные воды. Далее (для разных мест глубины разные) появляются минерализованные хлоридно-натриевые воды, причем, как правило, их минерализация увеличивается с глубиной. Наконец, хлоридно-натриевые чаще рассольные воды сменяются хлоридно-кальциевыми или магниевыми.

Представленная закономерность является общим правилом, имеющим редкие исключения, связанные либо с притоком на некоторую глубину с поверхности более пресных вод, либо подземным испарением и конденсацией испарившихся вод и разбавлением ими рассолов, либо еще рядом других исключительных и редких причин.

Но вопрос — почему большая часть воды х л о р и д н а я и главным образом натриевая — пока у нас остался еще без ответа. Во всяком случае растворимость хлористого натрия не является причиной этого. Есть много других веществ, растворимость которых выше растворимости поваренной соли: KCl , $MgCl_2$, $CaCl_2$ и др. (рис. 32). Наиболее растворимым является $CaCl_2$, наименее $NaCl$. Но несмотря на это более половины всей воды гидросферы хлоридно-натриевая.

Прежде чем найти объяснение этому поразительному факту, следует установить, какое количество хлора вообще содержится в лито- и гидросферах. Основоположник геохимии Ф. Кларк вычислил распространенность химических элементов в весовых процентах в литосфере от веса слагающих ее пород. Академик А. Е. Ферсман назвал эти значения по имени американского ученого Ф. Кларка — кларками. Кларк хлора, по вычислениям самого Ф. Кларка, 0,188%, а по данным А. Е. Ферсмана — 0,2%. В 1963 г. автором был заново подсчитан кларк хлора для литосферы в целом, он оказался равным 0,28%. Были вычислены частные кларки для океана (2,2%), для литосферы континентального типа с подземной гидросферой (0,2%), для свободных (гравитационных) вод подземной гидросферы (6,1%). Последнее значение оказалось в 2,8 раза выше, чем кларк хлора для океана. Общее содержание хлора в гидросфере и литосфере по данным последних подсчетов представлено на рис. 33.

На гидросферу приходится 64% всего хлора, на минералы и породы литосферы — 36%. Значит, большая часть хлора находится в растворе, а наибольшие концентрации его сосредоточены в соляных месторождениях.

Для понимания причин такого монопольного превосходства вод хлоридного класса в гидросфере совершенно необходимо учесть, что хлор очень слабо входит в состав минералов. Только около 4—5% различных минералов содержат хлор, причем в большинстве даже этих минералов хлор присутствует в весьма незначительных количествах.

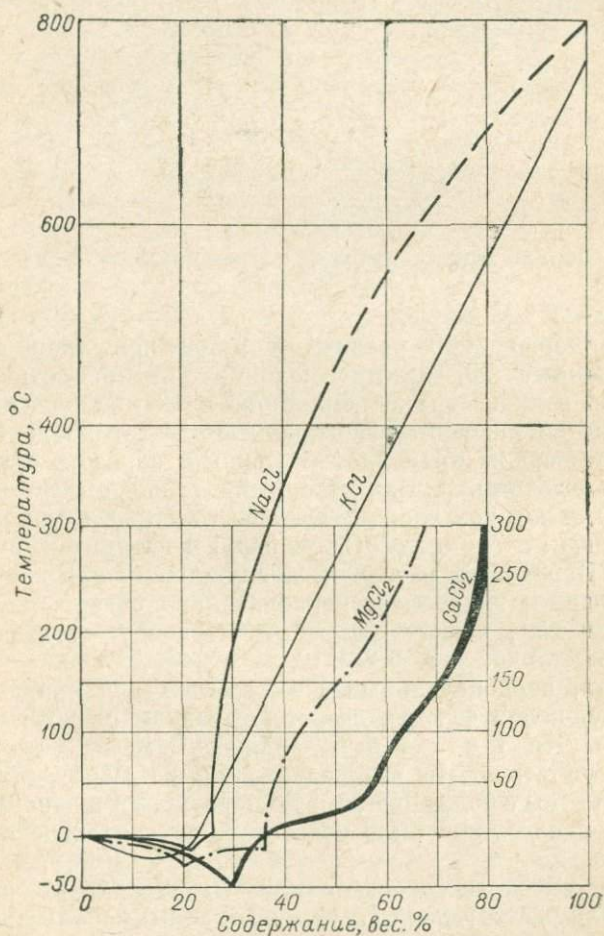


Рис. 32. Зависимость растворимости некоторых солей в воде от температуры.

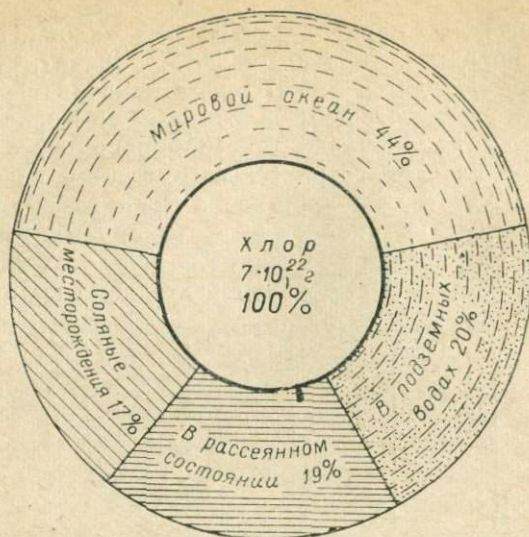


Рис. 33. Распределение хлора в гидросфере и литосфере Земли.

Из примерно 2000 различных минералов хлор встречен лишь в 73, притом половина из них относится к очень редко встречаемым. Лишь в 12 минералах хлор содержится в значительном количестве (от 25 до 85%), и эти минералы принадлежат главным образом соляным месторождениям. Единственный минерал — молизит (FeCl_3), в котором хлора больше всего (85%), очень редок, так же как нантоцит (CuCl_2 — 34%) и катунит (PbCl_2 — 25%). Первичный материал, послуживший для сооружения лито- и гидросфер, первоначально содержал хлора в количестве, незначительно отличавшемся от величины нашего кларка, т. е. 0,28%.

Итак, первоначальный флюид был беден хлором. По мере движения флюида из него выпадали различные минералы. Но так как в подавляющей массе минералов хлор отсутствует, то его содержание по мере движения вверх в зоны с более низкими температурами и давлениями постепенно должно было возрастать относительно самого флюида.

Это тем более справедливо, что значительные объемы воды как растворителя (т. е. чистой воды) использовались выпадающими из флюида минералами на построение своих кристаллических решеток, т. е. на гидратацию. Таким

образом, количество хлора практически оставалось то же, но количество воды уменьшалось, следовательно, концентрация хлора увеличивалась.

На рис. 34 представлена гипотетическая модель подземной гидросферы материков. Эта схема исходит из предположений, являющихся хотя и предположительными, но согласованными с имеющимися данными геофизики, геохимии, вулканологии и петрологии. Конечно, эти дисциплины в настоящее время обладают весьма ограниченным количеством твердо установленных фактов, но из этого отнюдь не следует, что построение гипотез, находящихся в согласии с современными представлениями в смежных с геологией дисциплинах, недопустимо.

Как сказал выдающийся астроном, математик и физик Леонард Эйлер (1707—1783): «Все, что мы теперь достоверно знаем, было прежде облечено в догадки, и если бы не допускались догадки, даже ошибочные, то мы бы не добыли ни одной истины». Поэтому не следует смущаться, что далеко не все и даже не большая часть того, что относится к характеристике глубинных вод, является бесспорным и достаточно доказательным.

Факты повсеместного распространения на 71% поверхности нашей планеты, а также в ее недрах и, отчасти, в атмосфере хлоридных минерализованных или рассольных вод позволили автору предложить новое планетарное понятие и выражающий его термин г и д р о х л о р о с ф е р а.

Гидрохлоросфера является основным и первичным источником всех вод любого состава в наружных оболочках нашей планеты, за исключением вод, поступающих из космоса или образующихся на месте в результате некоторых физико-химических или биохимических процессов. Гидрохлоросфера в атмосфере и на поверхности Земли имеет прерывистую протяженность, в литосфере — непрерывную. Подземная гидрохлоросфера имеет определенную вертикальную зональность: в верхней части она натриевая, а глубже — кальциевая или магниевая. Эта зональность связана с дифференциальной подвижностью щелочных (натрий) и щелочноземельных (кальций и магний) элементов при их движении радиально снизу вверх через породы, слагающие литосферу, как через сита — мембраны. Натрий опережает кальций и магний по следующим причинам: 1) ионы кальция при понижении температуры (что происходит в литосфере снизу вверх) снижают фильтрационную способность в 3,5 раза против

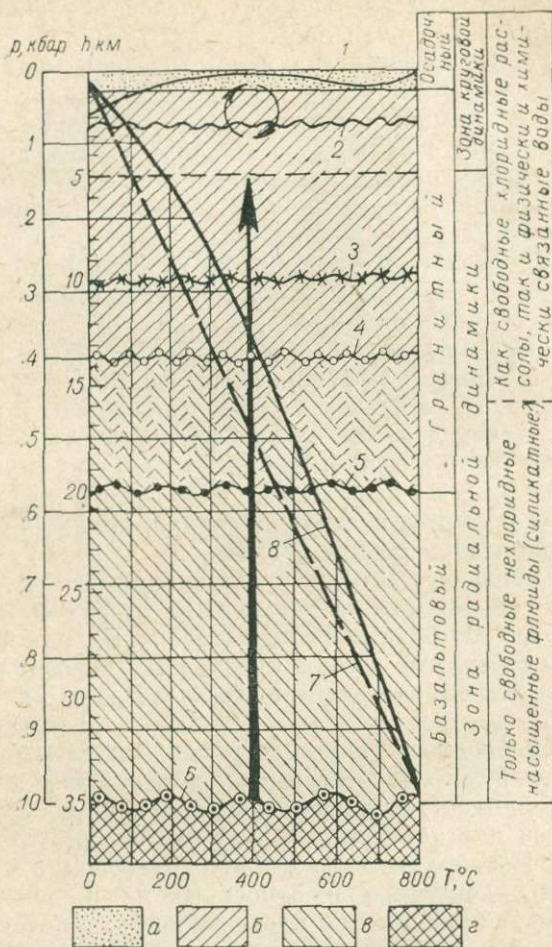


Рис. 34. Гипотетическая модель подземной гидросферы континентального типа (средние значения), по В. Ф. Дерпгольцу.

а — осадочная толща пород; б — свободные хлоридные рассолы (сверху — натриевые, глубже — кальциевые и магниевые), а также физически и химически связанные воды; в — свободные насыщенные нехлоридные водные флюиды, вероятно, силикатные; г — верхняя мантия.

1 — верхняя граница подземной гидрохлоросферы; 2 — верхняя граница образования кристаллизационной H₂O; 3 — верхняя граница образования конституционных H₂O, OH⁻, H₃O⁺, H⁺; 4 — верхняя граница метаморфизма пород; 5 — граница Конрада; 6 — поверхность Мохоровичича; 7 — кривая температура пород, °C; 8 — прямая литостатического давления, кбар.

ионов натрия, а ионы магния — даже в 7 раз; 2) растворимость хлоридно-кальциевых солей с понижением температуры падает в 2,7 раза быстрее, чем у хлоридно-натриевых; 3) с увеличением минерализации вязкость растворов хлористого кальция и магния нарастает быстрее, чем раствора хлористого натрия; с падением минерализации вязкость хлористого кальция и магния падает медленнее, чем хлористого натрия; 4) многими экспериментальными работами подтвержден эффект акад. Д. С. Коржинского о более легкой фильтрационной способности щелочных металлов по сравнению со щелочноземельными.

Если условно допустить равномерность поступления воды из мантии в литосферу и на ее поверхность за все 4,5 млрд. лет геологической истории Земли, то мы получим, что в год на 1 см^2 поверхности нашей планеты (510 млн. км²) поступало 0,00011 г воды. Это дает всю современную подземную и поверхностную гидросферу. Вот еще один яркий пример, как ничтожная величина, близкая пониманию человека с точки зрения его короткой жизни, становится грандиозной, когда мы рассматриваем эту же самую величину в планетарном масштабе площади и в геологическом масштабе времени.

Влияние Вселенной и земных глубин на земную воду

Земля явно захватывает небесные тела в виде космической пыли, газов, атомов, молекул, метеоритов и астероидов непрерывно в течение миллиардов лет.

В. И. Вернадский, 1946

Атмосфера, поверхность и недра нашей планеты непрерывно испытывают влияния двоякого рода — силы притяжения и силы отталкивания. Поверхность Земли может рассматриваться как арена борьбы этих двух противоположных сил. Эта двойственность, дуализм, откладывает свой отпечаток всюду. Одно воздействие идет из космоса, и мы назовем его экзогенным, т. е. внешним; другое — из земных недр, из мантии, и мы назовем его эндогенным.

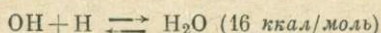
Рассмотрим несколько примеров экзогенных влияний, начнем с атмосферы. Вода в нее из космоса, по-видимому, может проникать или образовываться вновь. Все же вероятность льдистых метеоритов велика. Если это даже не чисто ледяные метеориты, то лед внутри космических

тел содержаться может. Во всяком случае, масса метеоритов, падающих на Землю, содержит 0,5—20% и более связанной воды.

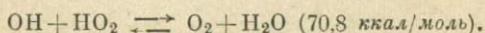
За геологическое время, разумеется, если произвольно допустить одинаковое поступление космической пыли, мы получим слой из нее вокруг нашей планеты мощностью 100 м, который даст 821 тыс. км³ воды, исходя из минимального содержания воды в 0,5%. Такое количество воды составит 28 объемов Балтийского моря (29 тыс. км³).

Без сомнения, Земля неоднократно сталкивалась с телами комет, головы которых состоят в значительной части из льдов, в том числе и водного. По крайней мере, каменный материал их цементирован льдами или «грязным» снегом. Последнее столкновение Земли с кометой произошло 30 июня 1908 г. в районе Нижней Тунгуски. По подсчетам столкновения с кометами могли дать Земле воды меньше, чем метеоритно-пылевого материала.

От Солнца движутся потоки корпускул — заряженных частиц быстро движущихся протонов, которые, присоединяя в верхней атмосфере электроны, могут превращаться в атомы водорода и кислорода и образовывать молекулу воды. Сперва образуется гидроксил и перегидроксил, которые, реагируя друг с другом или с водородом, дают молекулу воды, выделяя при этом тепло. Например:



или



Однако под влиянием фотодиссоциации одновременно могут идти и обратные реакции.

Состав первичного космического излучения грубо может быть представлен следующими относительными значениями, если условно водород принять за 1000:

Ядра водорода (протоны)	1000
» гелия	150
» лития, бериллия, бора	3,5
» углерода, азота, кислорода	7,0
Остальные ядра с атомными номерами более 10	2,5

Большое влияние оказывает Солнце на атмосферу в период своей активности, под которой понимается целый комплекс различных явлений, в частности интенсивность солнечных пятен.

Они представляют собой относительно более холодные места наружной оболочки Солнца с температурой примерно на полторы тысячи градусов ниже окружающей поверхности. Солнечные пятна — это гигантские электромагниты с поперечником до десятков тысяч километров.

Интенсивность характеристики солнечных пятен (в том числе и их количества) выражалась ч и с л а м и В о л ь ф а. Связь солнечной активности (числа Вольфа) с образованием глубоких циклонов иллюстрируется на рис. 35, а с интенсивностью космических лучей — на рис. 36. Любопытно влияние солнечных пятен на величину площади льдов в Баренцевом море и высоту уровня воды в оз. Виктория (Африка), что видно из рис. 37.

О влиянии гравитационных полей в гидросфере Земли, о приливах и отливах, у нас уже шла речь. Теперь мы упомянем об аналогичных приливах в атмосфере.

Атмосфера, особенно верхняя, в отличие от гидросферы, испытывает главным образом влияние солнечных, а не лунных приливов, так как 12-часовой период собственных колебаний атмосферы совпадает с периодом приливных возмущений, создаваемых Солнцем (резонанс колебаний).

За сутки плотность верхней атмосферы может меняться в 100 раз, а температура более чем в 2 раза (примерно от 630 до 1530° С). Длительными наблюдениями в Гринвиче установлено, что для данного места солнечные приливы в атмосфере в 39 раз больше лунных (0,5 и 0,013 мм рт. ст.). Атмосферные приливы и отливы, подобно морским, достигают одновременно максимального значения в двух диаметрально противоположных точках трехосного эллипсоида. Но и одни приливы оказывают на атмосферу ощутимые воздействия, что хорошо показано на рис. 38 и на рис. 39.

Большое влияние имеют электромагнитные силы, особенно вблизи магнитного экватора, например в Гуанкайо (Перу). Здесь приливные колебания достигают высоты 30 км. Воздушный океан вздымается и опускается под воздействием обтекающей нашу планету волны атмосферного давления.

Гравитационное воздействие Луны приводит к вековому торможению вращения Земли, удлиняя за столетие земные сутки примерно на одну тысячную долю секунды. Но и годовая скорость вращения Земли также испытывает колебания. Быстрее Земля вращается в августе, медленнее — в марте. Разность 0,000000029 секунды в сутки.

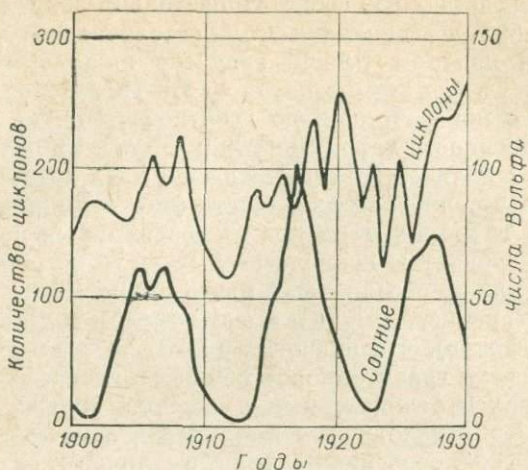


Рис. 35. Солнечная активность (числа Вольфа) и количество глубоких циклонов (по Вителюсу, 1946).

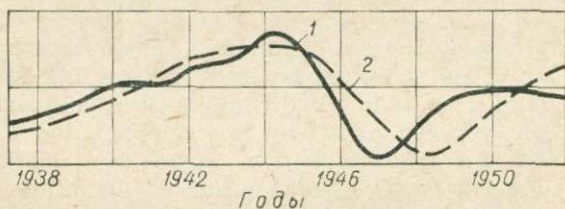


Рис. 36. Изменения среднегодовых значений интенсивности космических лучей (1) на четырех станциях в 1937--1952 гг. в связи с изменением числа солнечных пятен (2) (по Форбушу).

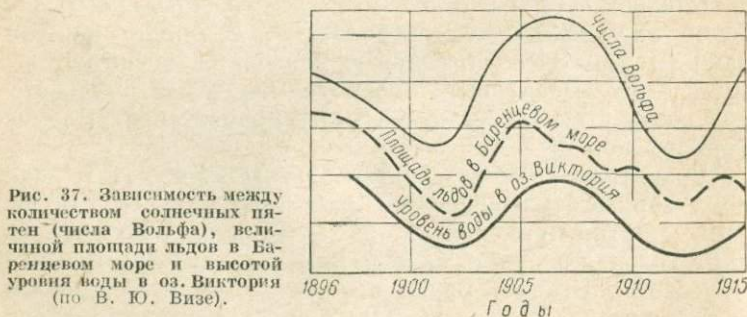


Рис. 37. Зависимость между количеством солнечных пятен (числа Вольфа), величиной площади льдов в Баренцевом море и высотой уровня воды в оз. Виктория (по В. Ю. Визе).

Рис. 38. Полусуточное изменение высоты h ионосферы под давлением лунного прилива (по Эшпльтону и Уиксу).

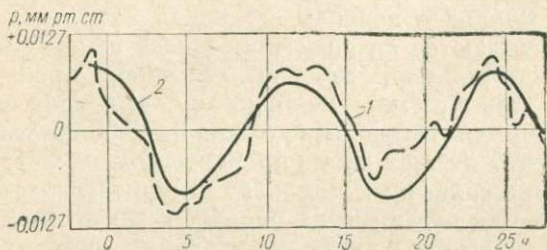


Рис. 39. Кривая изменения барометрического давления в Гринвиче под влиянием лунных приливов (1) в сравнении с полусуточной составляющей Луны (2) (по Чемпену). Для солнечного прилива амплитуда колебаний давления атмосферы в 400 раз больше.

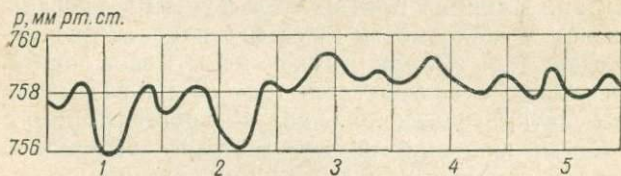


Рис. 40. Кривая изменения атмосферного давления в Джакарте в течение пяти суток (по Бартельсу).

Четко отражается влияние приливов Солнца с периодом около 12 ч и с амплитудой колебания давления около 2,5 мм рт. ст.

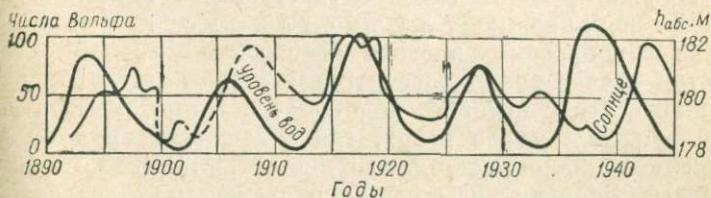


Рис. 41. Колебания уровня подземных вод в Каменной стене в связи с изменением количества солнечных пятен (числа Вольфа), по данным Г. Басова.

Необходимо оговориться, что вековые изменения скорости вращения Земли происходят также в результате изменения ледяного покрова Арктики. Переход твердой фазы воды в жидкую или наоборот вызывает увеличение или уменьшение масс льда. Кроме того, наблюдается некоторое запаздывание фазы приливов в твердом теле Земли. Наконец, на изменение скорости вращения влияет и перераспределение масс внутри твердого тела планеты.

Единичные вспышки на Солнце, а также периоды активности Солнца и периоды его покоя далеко не безразлично сказываются на поведении нашей атмосферы и литосферы. Например, мощная вспышка, происшедшая 15 июля 1959 г., была, по-видимому, причиной увеличения 21 июля длительности суток на 0,00085 секунды. Любопытно, что на этот день пал максимум землетрясений.

Влияние солнечных приливов на изменение атмосферного давления отражено на рис. 40, а связь между количеством солнечных пятен и уровнями подземных вод в Каменной степи достаточно четко показана на рис. 41. Здесь промежуточным звеном между Солнцем и подземными водами служит атмосфера. Подтверждением этого предположения является рис. 42, отражающий явную связь давления воздуха с уровнями воды в колодце за четверо суток. Влияние притяжения Луны на уровень подземных вод в зависимости от ее фаз показано на рис. 43.

Твердое тело Земли также испытывает приливные лунно-солнечные воздействия. Литосфера вздымается на десятки сантиметров, и волна вздутия обегает вокруг планеты. Самый большой подъем твердой оболочки Земли происходит так же, как и при морских приливах, при суммарном воздействии гравитационных сил Луны и Солнца. Это приводит к изменению уровней подземных вод, которые в период прилива (подъема) твердой литосферы испытывают падение уровней.

Пожалуй, самое сильное экзогенное воздействие на земные воды оказывает лучистая энергия Солнца, главным образом теплового диапазона. Мировой океан в этом случае может рассматриваться как котел паровой машины, тепло которого поднимает водяные пары на несколько километров вверх, где они конденсируются до капельно-жидкого состояния и низвергаются вниз, в форме дождей. Энергия воды рек, используемая гидроэлектростанциями, возникает как результат проявления тепловой энергии Солнца.

Рис. 42. Колебания уровня воды в колодце Франкфуртского сада (ФРГ) в зависимости от атмосферного давления в течение 1—4 января 1952 г. (по Мюгге, 1953).

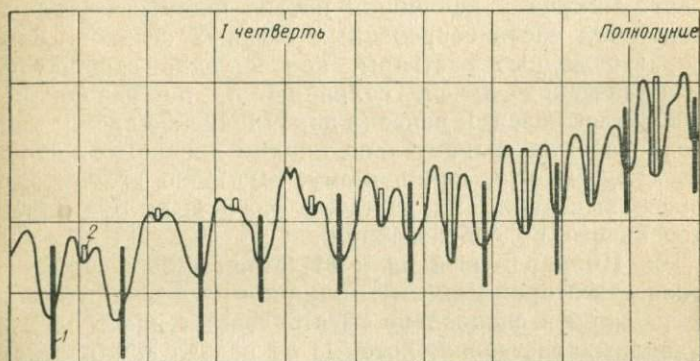
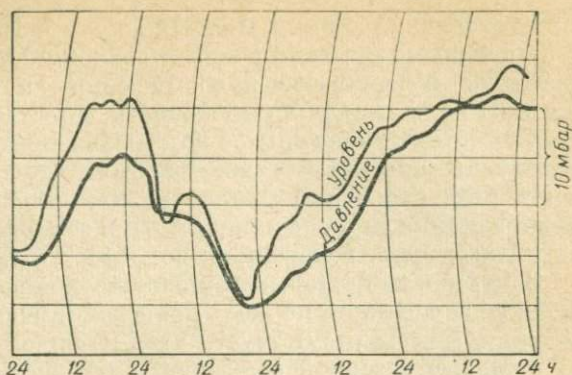


Рис. 43. Колебания уровня подземных вод в буровой скважине глубиной 250 м в штате Айова (США) в связи с полусуточным влиянием Луны на земное поле гравитации (по Т. Робинзону, 1939).

1 — суточные периоды, отвечающие положению Луны в точке кульминации (зените); 2 — возрастающие колебания уровня по мере приближения к полнолунию, когда происходит сложение приливообразующих сил Луны и Солнца. В I четверти Луны эти амплитуды минимальны, так как силы притяжения Солнца и Луны действуют под углом 90° друг к другу.

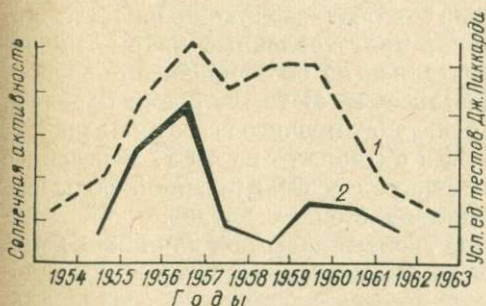


Рис. 44. Сравнение интенсивности солнечной активности (1) с данными химических тестов Дж. Пиккарди (2).

Итальянский ученый Дж. Пиккарди в 1965 г. широко поставленными опытами доказал восприимчивость водных растворов к космическим возмущениям и к связанным с ними колебаниям интенсивности естественных полей. Так, на сотнях тысяч опытов по наблюдениям за скоростью осаждения коллоидных частиц была доказана зависимость этой скорости от солнечной активности, оказывающей влияние на степень проявления земного магнетизма, магнитных бурь, изменений в ионосфере и т. п.

Замечено, например, что омагничивание водных растворов в период с марта по июль происходит значительно слабее или совсем отсутствует, что, по-видимому, связано со степенью сезонной солнечной активности.

Была установлена явная связь между периодами активного Солнца и величиной потока космических лучей с толщиной слоев современных озерных осадков. Замечено, что водные растворы, искусственно защищенные от космических лучей, сохраняются, не разрушаясь. 500 млн. лет назад и ранее (в докембрийское время) наша атмосфера была сравнительно плохим экраном от космических лучей, что, по-видимому, вызывало грандиозный процесс выпадения из раствора различных руд (время интенсивного рудообразования).

Дж. Пиккарди выявил в 11-летнем цикле солнечной активности второй максимум влияния на невоспроизводимые реакции в специально изготовленных для этой цели коллоидных растворах, которые он назвал «химическими тестами». Детальными наблюдениями за солнечной активностью такой второй пик был действительно установлен (рис. 44).

Магнитная обработка воды, нашедшая в настоящее время во всех странах мира широкое техническое применение, показала, что образцы бетона, приготовленные на омагниченной воде в разные сезоны года, при всех прочих равных условиях имеют разную прочность. Например, образцы бетона, приготовленные на омагниченной воде в январе, оказались на 60% прочнее образцов, изготовленных на простой воде. В то же время образцы, изготовленные в мае, оказались прочнее всего лишь на 3%, в сентябре — на 22%, а в октябре — на 40%. В весеннее время также резко снижается у омагниченной воды эффект устранения накипи на стенках котлов.

Возможно изменение свойств воды под влиянием изменения поля силы тяжести. Замечено, например, что в условиях невесомости увеличивается растворение солей каль-

ция. Естественно ожидать резких отличий свойств водных рассолов на больших глубинах Земли.

Экзогенные воздействия оказывают свое влияние не только на внешние оболочки, но и на все тело нашей планеты. Мы имеем в виду не только гравитационные поля (или волны?), но и такие космические потоки, как нейтрино, проникающие сквозь всю Землю. Кроме того, экзогенные воздействия часто служат «спусковым механизмом» для проявления могучих сил, заключенных в земных недрах и принадлежащих к эндотегенным.

Что же представляют собою эндотегенные силы? Это, прежде всего, механические силы давления пород, которые достигают в центре Земли 3,4 млн. *атм.* Далее, это температура, составляющая внутри земного ядра 3000—4000° С. Это химическая, электромагнитная, ядерная энергии, которые по мере углубления в недра земных оболочек возрастают. Таким образом, если двигаться эндотегенно, т. е. изнутри планеты, из верхней мантии к ее наружным оболочкам, то на каждый километр нашего пути давление, температура будут падать на какую-то величину. Напомним еще раз, что в среднем от верхней мантии до дневной поверхности Земли на каждый километр давление будет падать на 286 *атм.*, а температура — на 23° С. Эти величины, как уже указывалось, будут называться градиентами. Из физики известно, что энерго-массообмен может совершаться в направлении от горячего к холодному, от более высоких давлений к более низким, от крепких растворов к более слабым, т. е. в большей части толщи литосферы радиально снизу вверх.

Нам придется познакомиться с понятием *п о т е н - ц и а л а*, под которым следует понимать величину, характеризующую запас энергии тела, находящегося в данной точке поля (тяготения, магнитного, температурного, электрического и т. д.). Разность потенциалов между двумя точками определяет работу, которую совершает данное тело. В нашем случае разность потенциалов между подошвой литосферы и ее кровлей составит в среднем для давления 10 тыс. *атм.*, а для температуры около 800° С.

Посмотрим, какое же воздействие оказывают силы, заключенные в земных недрах, на земные воды. Уже только одни эти энергетические градиенты исключают возможность физического равновесия, и только они одни должны приводить к миграции легколетучего и легкоплавкого вещества снизу вверх, т. е. из областей с высокой

температурой, давлением и концентрацией в области с низкими значениями этих показателей.

Это одно из самых главных эндотегенных влияний на подземные воды. Оно проявляется в весьма многообразных формах и на земном лике, причем к одним из основных передатчиков этой глубинной энергии относятся подземные воды — самое подвижное вещество земных недр.

Казалось бы, газы более подвижны, чем природные растворы. Их вязкость меньше. Но это верно только для верхних этажей литосферы. Вспомните, что давление резко обгоняет температуру по мере приближения к подошве литосферы. Это обстоятельство заставляет газы растворяться в водном флюиде или в расплавах других веществ. Поэтому на глубине, в недрах, водный раствор, включающий и растворенные газы, является самым легкоподвижным флюидом.

Скапливающаяся в отдельных очагах магма очень вязкая, особенно на глубине. Но подчас даже и на дневной поверхности магматическая расплавленная масса столь вязка, что выступающая из кратера лава может образовывать вертикально стоящую в атмосфере пробку, высотой в 200 м (две высоты Исаакиевского собора в Ленинграде). Такая пробка образовалась при извержении вулкана Мон-Пеле на о. Мартиника (Малые Антильские о-ва в Карибском море) в 1902 г., при этом с вершины вулкана скатилось тяжелое облако раскаленных газов, которое полностью уничтожило г. Сен-Пьер.

Большое влияние на подземные да и на поверхностные воды оказывают земле- и моретрясения и извержения вулканов.

Эти грозные природные явления, по выражению крупнейшего вулканолога Гаруна Тазиева, — «братья». Они являются порождением тех напряжений, которые разрывают литосферу и связаны с глубинными разломами — этими первичными чертами ее строения.

Но каков действительный механизм возникновения землетрясений и извержений вулканов, ученым еще далеко не ясно. Некоторые исследователи, включая и автора, полагают, что первопричиной возникновения этих слабых отзвуков на дневной поверхности неизмеримо более могучих сил недр является вода. Под тысячами и десятками тысяч атмосфер сжатая вода при сверхкритических температурных условиях и при внезапном ослаблении давления (например, по глубинному разлому) может мгновенно взрываться с колоссальной силой и вызывать

либо извержения магмы при наличии канала, либо землетрясения при отсутствии подобной отдушины.

Сила взрыва может быть настолько велика, что она пробивает громадные толщи пород с глубин 100—150 км, образуя трубки взрыва — кимберлитовые трубки. Кимберлит * является коренным источником алмазов (Южная Африка, Якутия). Поперечник трубок взрыва от 25 до 800 м. Интересна водная характеристика, например, алмазоносной кимберлитовой трубки «Мир» (Якутия). При бурении ряда скважин было установлено, что на глубине 312 м был встречен хлоридно-натриевый рассол с минерализацией 52 г/л, а на глубине 1009 м рассол был в 4 раза более концентрированным (223 г/л), содержание брома увеличилось в 47 раз (с 0,03 до 1,4 г/л).

На нашей планете известны 3000 вулканов. Из них 700 проявили себя в историческое время одним или несколькими извержениями.

Большая часть вулканов расположена на дне океана. Под водой происходят не столько и з л и я н и я магмы, сколько в ы ж и м а н и е ее, подобно пасте из тьюбика. В атмосфере вулканический пепел поднимается подчас до 50 км и больше. Облака раскаленных газов могут перемещаться со скоростью воздушного пассажирского лайнера — 600 км/ч. Совсем иначе происходят подводные извержения. В этом случае вместо пепла выбрасывается пемза и шлак, более легкие, чем вода, образующие плавающие горы и много десятков квадратных километров плавающих полей островов.

При извержении вулканов в атмосферу поступает громадное количество воды в форме паров. По данным Е. К. Мархинина, за 4,5 млрд. лет вулканами выброшено 58% всей массы литосферы и около 50% всей воды Мирового океана. При извержении вулканов на пары воды обычно приходится большая часть всех газов, а на каждый кубический метр твердых продуктов извержений приходится в среднем около 500 м³ газообразных. При извержениях, по данным С. И. Набоко, поступает воды около 1/3 объема Каспия ($2,5 \cdot 10^{13}$ т).

* Кимберлитом называется порода, заполняющая трубки взрыва. В основном она состоит из серпентина, оливина, слюды и ряда включений (эклогиты, граниты и др.). Минерал серпентин (от serpens — змея; по окраске) состава $Mg_3[OH]_4Si_2O_5$. Минерал оливин (от oliva — оливка) Fe_2SiO_4 ; прозрачный зеленый оливин является драгоценным камнем — хризолитом. Минерал слюда состава $K(Al, Mg, \frac{1}{2}Li)_2(OH, F)_2AlSi_3O_{10}$.

Приведем краткую цифровую характеристику одного извержения вулкана Безымянного (Камчатско-Курильская дуга), происшедшего 30 марта 1966 г. Размер кратера составлял $1,7 \times 2,8$ км при глубине 500 м. Туча пепла достигала 40 км в высоту, а ее объем составлял $0,4$ км³. Длина излившегося магматического потока равна 18 км при мощности от 10 до 65 м; длина грязевого потока — 90 км. Одного пепла содержалось в нем $0,5$ км³. Очаг питания жидкой магмы находился в мантии.

С вулканами связано обычно значительное количество горячих источников, так называемых гидротерм. Камчатско-Курильские гидротермы преимущественно сульфатно-хлоридные с минерализацией до 60 г/л и менее. Малая минерализация гидротермальных источников вполне естественна. Крепкие глубинные рассолы недалеко от магматических трактов и вблизи дневной поверхности переходят в парообразное состояние, и содержание растворенных ионов в них не может быть большим, так как плотность пара слишком мала, чтобы переносить значительное количество ионов.

Едва ли не самой выдающейся областью Земли по интенсивности и грандиозности проявления вулканических сил нашей планеты является о. Исландия, представляющий собой выступ подводного хребта от Шотландии к Гренландии. На этом острове площадью 105 тыс. км² находится свыше 100 вулканов (частью потухших), а также много действующих и ныне гейзеров — горячих, периодически фонтанирующих источников.

В 1783 г. здесь, в районе трещины Лаки, к которой приурочен ряд вулканов, произошло самое крупное за всю историю человечества извержение. За первые 50 дней было выброшено материала 5 тыс. м³ в 1 сек, а всего излилось $12,5$ км³ лавы и 1 км³ рыхлого материала при громадном количестве неучтенных газов, главным образом водяных паров. Концентрация сернистого газа была столь велика, что привела к полному уничтожению всей растительности и к небывалому голоду. Под водой возник вулканический хребет.

Известны случаи образования новых вулканов и в наше время. Так, например, в одном из штатов Мексики, где ранее никакой вулканической деятельности не было, в 1943 г. образовался вулкан Парикутин, конус которого за 3 года вырос до 500 м, а выбросы пепла поднимались на 6 км.

Но кроме обычных вулканов существуют еще так называемые грязевые вулканы, широко распространенные как в СССР (Азербайджан, Грузия, Туркмения, Керченский полуостров, Азовское и Черное моря), так и за рубежом (Бирма, Болгария, Венесуэла, Индия, Индонезия, Иран, Италия, Китай, Колумбия, Мексика, Перу, Румыния, США, Эквадор и др.). Самый крупный в мире грязевой вулкан находится в СССР, в Азербайджане. Это Большой Кянизадаг. Его выбросы достигают высоты 400 м, а общий объем выброшенного материала около 750 млн. м³.

С явлениями вулканизма рождаются землетрясения, когда высвобождается энергия, накопившаяся в большом объеме горных пород. Большая часть землетрясений со значительной энергией (75%) приходится на периферию Тихого океана; остальные 20% — на второй главный пояс, простирающийся от Индонезии через Бирму, Гималаи, Иран, Средиземное море к Азорским островам. Оставшиеся 5% приходятся на остальные как активные, так и условно «спокойные» участки нашей планеты, так как на Земле нет такой точки, которая могла бы в строгом смысле быть отнесена к совершенно асейсмичной.

Если взять четвертичный период (последний миллион лет), то в СССР поднятия территории достигали 5 км, а опускания 4 км. Современные опускания и поднятия составляют в год от 2 до 10 мм. Так, территория Ленинградской области к югу и юго-востоку испытывает опускания, а районы Эстонии, Латвии, Литвы, Бреста — Пинска, Львова — Тернополя, Кишинева — Николаева — Ростова испытывают подъем. Территория Финляндии — Карелии испытывает сейсмические толчки в среднем ежедневно. Даже Ленинградская и Новгородская области за историческое время испытывали ощутимые землетрясения, о чем свидетельствуют многочисленные записи в Новгородской и Псковской летописях. В них упоминаются также страшные геологические катастрофы на берегах Балтийского моря в X—XIII вв.

Любопытно, что древние греки видели причину землетрясения в воде, отчего Гомер и присваивает морскому богу Посейдону эпитет «потрясателя Земли». Такого же мнения придерживались ионийцы со своей древнейшей философией материалистического направления в VI—V вв. до н. э. (Анаксимандр, Аниксимен, Фалес). Фалес отмечал появление при землетрясениях новых источников

и приводил их как доказательство связи землетрясений с подземными водами.

Землетрясения приводят часто к крупным изменениям в режиме подземных вод. Одни источники могут иссякнуть, другие появиться. Может измениться уровень воды в скважинах и колодцах, а также температура и состав воды.

В качестве примера влияния землетрясения на подземные воды приведем Ташкентское землетрясение 1966 г. Сила первого толчка 26 апреля составила 5,5 баллов, гипоцентр находился на глубине всего 8 км, а эпицентр пришелся на центральную часть города. Всего произошло 750 толчков постепенно убывающей силы. Глубина очагов при этом в общем уменьшалась с 8 до 2 км, хотя в отдельных случаях проявлялись и глубокофокусные точки.

Изменения, возникающие в толще пород, и перераспределения напряжений в их массиве сказались на подземной воде. Что же с ней произошло? Подземные воды Ташкента вследствие перегрузки эксплуатации скважин обладали пониженными уровнями. Спустя несколько месяцев после землетрясения уровни при прежних расходах резко повысились и имели дальнейшую тенденцию к повышению. Например, в двух скважинах с мая по август 1966 г. уровни повысились на 1 м, к ноябрю того же года — на 3 м, а к февралю 1967 г. — уже на 9,5 м. Чем дальше от эпицентра землетрясения, тем позднее и на меньшую высоту происходил подъем уровней.

Но Ташкентское землетрясение сказалось не только на уровнях, а и на температурах и химическом составе воды. Температура повысилась на 1—2° С. Изменился класс воды — вместо гидрокарбонатной она стала хлоридной. Несколько поднялась минерализация. Но самое интересное то, что содержание урана в ней возросло на целый порядок (т. е. в 10 раз) и несколько повысилось содержание фтора и мышьяка. Концентрация гелия возросла в 2 раза. Увеличилось также количество азота и углекислоты. Но все это с запозданием против периода толчков на 1—2 месяца, и чем дальше от эпицентра, тем запоздание было больше, а величина изменения меньше.

Все перечисленные изменения в подземных водах, бесспорно, свидетельствуют о раскрытии глубинных недр, вызвавших доступ в вышележащие горизонты глубинных вод.

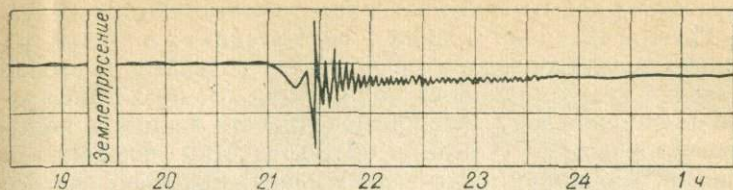


Рис. 45. Колебания уровня подземной воды в скв. 9 в Инхейдене (ФРГ) 19 марта 1953 г. в связи с происшедшим в Турции, на расстоянии свыше 2 тыс. км, землетрясением (по Мюгге, 1953)

Уровень воды отразил его с опозданием на 2 ч.

Подчас влияние землетрясений на подземные воды сказывается на весьма значительных расстояниях от эпицентра. Так, например, землетрясение в Турции оказало влияние на уровень воды в скважине в ФРГ, на расстоянии свыше 2 тыс. км (рис. 45). Землетрясение в горах Копетдага сказалось на уровнях воды как в колодцах, так и в более глубоких буровых скважинах, но в первом случае это выразилось в повышении уровня воды на 1,7 м, а во втором — в понижении его на 2 м (рис. 46).

На Аляске, в провинции Принс-Вильям, 27 марта 1964 г. произошло сильнейшее в США за последние 100 лет землетрясение, вызвавшее в Канаде, в провинции Альберта, на расстоянии 2200 км от эпицентра колебания уровней воды (от 3 м до 1,5 м) в 24-х наблюдательных колодцах, заложенных в дочетвертичных отложениях.

То же землетрясение оказало влияние на уровни подземных вод в трех скважинах в Виннипеге, на расстоянии 3219 км от эпицентра (южная часть Канады, штат Манитоба). Примерно за 3 ч уровни воды в указанных

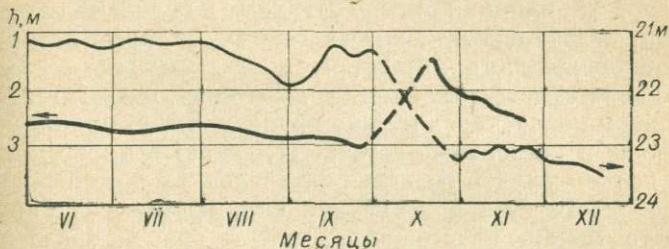


Рис. 46. Влияние землетрясения, происшедшего в октябре 1948 г. в горах Копетдага, на уровень подземных вод (по Коноплянцеву и др., 1963).

Стрелки указывают на соответствующие шкалы.

выработках испытывали колебания с амплитудой 16—23 см.

Рассматривая внутренние, эндотегенные, влияния на земные воды, нельзя не подчеркнуть совершенно особое значение гравитационного поля Земли. Земное притяжение заставляет воду дневной поверхности занимать пониженные участки. К этому обстоятельству человек так привык, что порой даже гидрогеологи, находясь под его гипнозом, переносят условия поверхности на большие глубины, полагая, что вода должна подчиняться и там только законам притяжения и проникать с поверхности все глубже и глубже. Не учитываются силы, о которых говорилось выше, действующие в диаметрально противоположном направлении.

Но гравитационное поле, естественно, имеет очень большое значение и на глубине. Мы имеем в виду гидростатическое уплотнение воды. На средней глубине подошвы литосферы давление столба воды 3,5 тыс. атм. Если бы вода была несжимаема, то она поднялась бы на 100 м против существующих уровней. Если же учесть геостатическое давление пород, в 2,7 раза большее, то величина сжатия воды должно быть еще выше.

Ускорения и замедления вращения Земли не могут не сказываться на подземных водах, хотя бы вследствие микроподвижек отдельных блоков литосферы. Трение блоков при перемещениях вызывает образование тепла, так называемое ротационное тепло, оказывающее, естественно, влияние и на подземные воды, о чем речь была выше.

Подытоживая все сказанное в данном разделе, можем прийти к следующему выводу. Внешние, экзогенные, воздействия имеют преимущественное влияние на воду в атмосфере и на поверхности литосферы. По мере углубления в недра эти влияния быстро затухают и сменяются глубинными, эндотегенными, воздействиями, которые контролируют поверхность литосферы и сказываются в нижней половине атмосферы. Стоит только напомнить гигантские выбросы паров, газов и дымов вулканами, излияния лавы, горячие и рассольные источники, земле- и моретрясения. Во всяком случае во внешних оболочках нашей планеты имеет место столкновение как сил, идущих из окружающего Землю пространства, так и сил, направленных из земных недр: сил притяжения и сил отталкивания.

Вода, хлор и жизнь

Основным фактором, определяющим химию моря, является живое вещество. Солевой состав речной воды обусловлен биохимическими процессами. Весь режим и происхождение газов атмосферы и океана обусловлен живым веществом.

В. И. Вернадский, 1940

Самое важное для жизни — вода, а самый главный компонент природных водных растворов — хлор.

Вода имеет первостепенное значение при большинстве химических реакций, в частности и биохимических. Древнее положение алхимиков — «тела не действуют, пока не растворены» — в значительной степени справедливо. Ниже дано среднее содержание воды в некоторых продуктах и организмах, %:

Огурцы	95	Бактерии	81
Помидоры	90	Споры бактерий	50
Яблоки	85	Ткани человека	65—70
Картофель	76	В том числе:	
Рыбы	75	кости	49
Хлеб	33	мышцы	76
Радиолярии	99	кровь	79
Медузы	96	лимфа	96

Человеческий зародыш содержит воды, %: трехдневный — 97, трехмесячный — 91, восьмимесячный — 81.

Интересно, что человек и животные могут в своем организме синтезировать первичную («ювенильную») воду, образовывать ее при сгорании пищевых продуктов и самих тканей. У верблюда, например, жир содержащийся в горбу, может путем окисления дать 40 л воды. Р. Фюрон [1966] сообщает, что взрослый человек, выпивающий 2,5 л воды в сутки, в то же время промывает свой пищеварительный канал жидкостью в объеме 10 л. Около 7 л жидкости циркулирует, в том числе: в виде слюны — 1,5; в форме желудочного сока — 1,5; кишечного сока — 3; сока поджелудочной железы — 0,7 и желчи — 0,5 л. Около 0,7 л воды в сутки испаряется в атмосферу (без потовыделения). С повышением температуры окружающего воздуха включаются в работу потовые железы. При потении человек, имеющий среднюю чувствительность к теплу, выделяет пота около 1,5 л/сутки, а с дыханием — около 0,4 л воды и примерно столько же получает ее при вдыхании из паров воздуха.

Связь между водой и жизнью столь велика, что даже позволила В. И. Вернадскому «рассматривать Жизнь,

как особую коллоидальную водную систему... как особое царство природных вод».

Количество воды, содержащейся в живых существах, составляет в каждый данный момент громадную величину. Силами жизни в течение одного года перемещаются десятые доли процента всего океана, а в немногие сотни лет через живое вещество проходят массы воды, превышающие массу Мирового океана.

Геохимический состав океанической воды близок к составу крови животных и человека (табл. 11).

Таблица 11

Сравнительное содержание элементов в крови человека и в Мировом океане, %

Элементы	Состав крови человека	Состав Мирового океана
Хлор	49,3	55,0
Натрий	30,0	30,6
Кислород	9,9	5,6
Калий	1,8	1,1
Кальций	0,8	1,2

Многими учеными высказывалось мнение, что кровь животных и человека повторяет химический состав той среды, из которой в далеком прошлом произошла жизнь — состав Мирового океана. Однако акад. В. И. Вернадский утверждал обратное: «Состав морской воды определяется биогеохимическими процессами». Химический состав морской воды проявляет химические свойства живого вещества, он биогенен, как всякая природная вода в пределах биосферы. Биосфера — область распространения живых организмов. Ее параметры: высота — 23 км, глубина — 2—3 км на суше, 11 км — в океане.

Громадное влияние на природную воду как самих живых организмов, так и продуктов их выделений позволило автору при классификации природных вод по признаку их происхождения и формирования химического облика выделить класс биогенных вод наряду с двумя другими классами: космогенными (поступающими из космоса) и эндотегенными (поступающими из мантии). Воды двух последних классов в про-

цессе круговорота воды в биосфере превращаются в биогенные.

Можно смело утверждать, что во всех природных водах биосферы, за исключением высокоминерализованных, ядовитых, купоросных и содержащих свободную серную кислоту, присутствует живое вещество. Любопытно, что даже рассолы содержат микрофлору. Природные процессы растворения, которые подчас приводят к образованию в биосфере очень различных по своим химическим свойствам вод, а также природные процессы выщелачивания, выпадения в осадок, ионного обмена и т. п. протекают не только и не столько в результате чисто физико-химических воздействий, сколько в результате очень сложных биохимических процессов, связанных с микроорганизмами убыстряющими, например, растворение подчас в 20 раз.

Некоторые микроорганизмы развиваются даже в весьма высокоминерализованных растворах хлористого натрия и погибают при их опреснении. Другие живут при температурах, превышающих 100°C , третьи могут разрушать такие труднорастворимые соединения, как алюмосиликаты. Даже растворение полярных льдов является чаще процессом биохимическим, протекающим с помощью микроорганизмов.

В. И. Вернадский справедливо считал, что «вода и живое вещество — генетически связанные части организованности земной коры». Некоторые живые организмы могут синтезировать воду из водорода и кислорода, а другие разлагать ее.

До появления жизни на Земле не было многих химических разновидностей вод, как их и не будет после исчезновения жизни. Особенно это касается так называемых «культурных» вод, связанных с деятельностью человека, и притом не столько в результате обмена веществ человеческим организмом (так называемым метаболизмом), сколько в результате применения и развития техники. Сюда надо отнести влияние на природные воды: 1) сбросовых вод промышленных предприятий; 2) органических нечистот; 3) рудничных вод; 4) буровых скважин, как трактов, по которым глубокие воды попадают на поверхность, а поверхностные могут поглощаться забоями скважин; 5) отепляющего воздействия технических сооружений на «вечную» мерзлоту, когда происходит перевод статичных запасов твердой фазы в динамическую жидкую фазу (подвижные воды); 6) земледелия, извлечения пород

из горных выработок, образования «хвостов» и распыления пород, вырубki лесов, воздействия газов; 7) земляных работ (выемки, карьеры, котлованы) и изменений гидрографической сети (образование новых водоемов посредством плотин и каналов); 8) импорта и экспорта как химических, так и пищевых продуктов — все это ведет к перераспределению элементов как на поверхности литосферы, так и в ее неглубоких недрах, а это в свою очередь, естественно, должно сказываться на изменениях химического облика воды и образовании новых составов вод, которых до этого времени природа не знала.

Вся биосфера, т. е. масса живого вещества Земли, составляет $3,6 \cdot 10^{17}$ г (360 млрд. т), что на 7 порядков меньше массы гидросферы ($2,5 \cdot 10^{24}$ г). Живая масса человечества составляет, если исходить из цифры 4 млрд. человек, $2,8 \cdot 10^{14}$ г (280 млн. т). Это в 1286 раз меньше всей массы живого вещества планеты, или составляет от нее лишь 0,08%. Чтобы реально представить себе массу живого вещества человечества, скажем лишь, что все оно могло бы поместиться на площади оз. Ильмень — озера средних размеров (его площадь около 2100 км^2), если на каждого человека предоставить $0,5 \text{ м}^2$ площади. Напомним, что 65% этой массы принадлежит воде (182 млн. т).

Все же с энергетической стороны, как ни велика биологическая энергия человеческого разума, «царем» природы следует считать мир бактерий, а на втором месте флору; фауна же с человеком вместе занимает лишь последнее место. Любопытно, что одна бактерия за сутки может произвести несколько триллионов (10^{12}) себе подобных, а зеленая водоросль за 2—3 суток только одну. Бактерии размножаются со скоростью звука, и споры их могут переноситься в межпланетном пространстве давлением света без потери способности к размножению. Это обстоятельство и служит причиной исключительной осторожности, которую проявляют ученые в отношении опасности переноса на Луну и с Луны на Землю бактерий или их спор, хотя пока они и не были еще найдены на лунной поверхности (карантин для людей и стерилизация для оболочки кабины). В лунных недрах с нашими земными температурами (а они там будут встречены) при наличии воды жизнедеятельность организмов пока не исключается.

Читатель, который все еще не отказался от убеждения, что человек — царь природы, должен будет изменить этой формуле, если узнает, что зеленые растения образовали большую часть свободного кислорода атмосферы и, таким

образом, создали условия для возможности существования всей фауны, которая дышит кислородом, в том числе и животных, живущих в водной среде, куда кислород поступает за счет атмосферы или работы зеленых водных растений и где находится в растворенном в воде состоянии. Вес свободного кислорода — 1,5 квадриллионов *m* ($1,5 \times 10^{21}$ г). По данным В. И. Вульфсона, содержание и распределение кислорода (O_2) и двуокиси углерода (CO_2) в атмосфере и гидросфере следующее, %:

	O_2	CO_2
Атмосфера	99	1,5
Гидросфера	1	98,5

Из приведенных данных очевидна резкая асимметрия между содержанием кислорода в атмосфере и гидросфере, а также между содержанием углекислого газа в этих сферах, что является следствием различной растворимости данных газов в воде.

В. И. Вульфсон справедливо заостряет внимание на влиянии, которое оказывает человек на воздух наземной атмосферы. Он приводит крайне интересные цифры по потреблению свободного кислорода при сжигании топлива и дыхании человека. Если к 2000 г. население Земли достигнет 6 млрд. человек, то сумма потребления кислорода человечеством составит 50 млрд. *m*. Это 10% кислорода, вырабатываемого всеми растениями Земли в результате фотосинтеза. Есть над чем задуматься!

Но растения создали не только кислород атмосферы, но и ее азот и двуокись углерода. Все основные газы атмосферы и большинство растворенных газов океана — продукт жизнедеятельности организмов. Ничего похожего по масштабам человечество за всю свою историю не сделало и в перспективе не предполагается, чтобы смогло сделать.

По крайней мере до настоящего времени 62% годового потребления невозобновляемого топлива приходилось на все виды углей, которые являются энергетическим запасом, собранным растениями за счет солнечной энергии. В последнее время на этот счет некоторыми учеными вводится весьма существенная поправка: лишь часть углерода в углях имеет растительное происхождение; другая часть предполагается привнесенной из мантии за счет выделяющегося глубинного углекислого газа.

Возвращаясь к морской воде, следует обратить внимание на то, что не только химия морской воды связана с жизнедеятельностью организмов, но и морские осадки, образующие геологические напластования, выпадающие из воды, также биогенны. Например, минерал опал ($\text{SiO}_2 \times \text{H}_2\text{O}$), в котором содержится до 34% воды, может образовываться из диатомовых водорослей, скелетов радиолярий, игл губок и др. Соединения алюминия концентрируются водорослями: железо — железобактериями, кальций — кораллами, полипами, микропланктоном (известняки). Подобное положение справедливо и для таких элементов, как углерод, азот, фосфор, сера, йод, бор, магний, марганец, калий и др.

Разумеется, первоначальное поступление всех без исключения элементов происходило в основном только из двух источников: самым крупным является мантия Земли, на втором месте стоит космос. Выше речь шла о вторичных, или вернее многократно повторяющихся, образованиях.

Остановимся теперь на взаимоотношениях главного элемента — хлора — с живым веществом. Эти взаимоотношения весьма любопытны, а подчас и неожиданны.

Прежде всего следует отметить, что больше половины живого вещества планеты (56%, или $2 \cdot 10^{11}$ т) принадлежит хлоридной морской среде. Хлор относится к элементам, безусловно, совершенно необходимым для жизнедеятельности организмов. Его роль в основном сводится к уравниванию тканевых растворов. Он осмотически активное вещество. Хлор среди органогенных атомов занимает особое, очень своеобразное положение. Дело в том, что в большинстве случаев хлор только проходит через организм, не давая концентрирующихся в нем соединений. Эта миграция хлора через живое вещество происходит, как правило, в соединении с натрием, даже и в тех случаях, когда хлор или натрий проникают в организм порознь.

Входя в незначительном количестве (0,5%) в состав соляной кислоты, хлор выполняет важные функции в желудочном соке при пищеварении человека и многих животных, и при этом он убивает патогенную микрофлору. Яды, выделяемые железами животных при защите от врагов, часто содержат органические соединения хлора. Некоторые водоросли и солончаковые растения, так называемые галофиты, весьма богаты хлором, содержание которого достигает подчас более 1 вес. %. Так, например, лебедка

бородавчатая содержит максимальное количество хлора — 1,6%. Обычно же содержание хлора в организмах 0,01 — 0,001 вес. %.

Среднесуточное потребление хлора человеком (в составе поваренной соли) около 3 г. Не правда ли немного? Но для всей планеты это составит в сутки 12 000 т, или 4,4 млн. т в год. Такое же количество будет выброшено человеком главным образом в почву, а частично попадет в водотоки, водоемы и Мировой океан. Соль добывается на соляных месторождениях, и человек способствует ее рассеянию по планете, пропуская через свой организм, — маленький пример участия живого вещества в геохимической миграции элементов. Говоря о воде и живой материи, нельзя не упомянуть о серебряной и талой воде.

Серебряная вода применялась в глубокой древности. Во всяком случае еще 2,5 тыс. лет назад персидский царь Кир во время походов пользовался водой, сохраняемой в серебряных сосудах. В Индии обезвреживали воду, погружая в нее раскаленное серебро. Действительно, опыт тысячелетий показал, что вода, в течение некоторого времени находившаяся в серебряном сосуде, перелитая затем в бутылку и хранившаяся в течение года, не портилась.

Научные исследования серебряной воды были впервые поставлены в Швейцарии ботаником Негели в конце XIX в. В XX в. во многих странах, в том числе и в СССР, было проведено много работ по изучению эффективных способов получения и применения серебряной воды для самых разнообразных целей. В настоящее время в разных странах изготавливаются фабричные ионаторы для получения больших количеств серебряной воды различных концентраций.

Ионы серебра обладают антимикробным действием. Серебряная вода с успехом применялась для обеззараживания питьевых вод. При полете космонавта В. Быковского использовалась для питья серебряная вода. Серебро как у нас, так и в США и Японии применяется для обеззараживания воды в плавательных бассейнах, а в Киеве — минеральных и фруктовых вод. Электролитический раствор серебра может применяться для консервирования молока, сливочного масла, меланжа, маргарина, для повышения стойкости некоторых микстур, для ускорения процессов старения вин и улучшения их вкусовых качеств.

Серебряная вода служит эффективным лечебным средством при воспалительных и гнойных процессах, вызванных

бактериальным заражением, а также при лечении желудочно-кишечных заболеваний, язвенной болезни, холецистита, воспалительных процессов носоглотки, глаз, ожогов и т. д. Серебряная вода применяется также в ветеринарии для профилактических и лечебных целей.

Не менее любопытно влияние на живой организм талой воды. Ее активное биологическое воздействие впервые было обнаружено в Арктике, когда при таянии льда было замечено интенсивное развитие планктона*. Вода тающего льда (и конечно снега) увеличивает в 1,5—2 раза урожайность сельскохозяйственных культур, прирост молодняка, яйценоскость кур, молочность коров, оказывает омолаживающее действие на организм как животных, так и человека.

По мнению известного биофизика Альберта Сент-Дьерди, «вода в виде льда есть матрица жизни». В талой воде сохраняются очаги ледяных структур. Это, своего рода «память» воды, о которой мы уже говорили в начале этой книги. Дело в том, что ледяная структура воды более рыхлая и в пустоты ледяной решетки идеально укладываются биомолекулы без их повреждения, с сохранением потенциальных жизненных функций.

Любопытно, что замороженное до твердого состояния сердце летучей мыши после оттаивания стало биться, а ископаемый тритон (углозуб), пролежавший в мерзлоте на глубине 14 м около миллиона лет, ожил.

Предполагается, что процесс старения организма сводится в значительной степени к нарастающему дефициту «ледяной» структуры биомолекул, разрушающейся под влиянием менее структурированной воды.

При употреблении свежей талой воды очаги льдоподобной структуры размером 20Å свободно проходят через стенки пищеварительного тракта и могут поступать в различные органы человека, производя оздоравливающее и омолаживающее воздействие на весь организм. В то же время установлено, что если растопить снег и вскипятить полученную из него талую воду, то она теряет стимулирующее действие.

* Планктон — совокупность разнообразных, главным образом очень мелких, организмов, живущих в воде.

НАША НЕБЕСНАЯ СОСЕДКА — ЛУНА

После Солнца внимание первых наблюдателей, без сомнения, уже с незапамятных времен обращала на себя Луна. Она освещает наши ночи, она указывает путь путешественникам в чужих странах и мореплавателям в неизвестных морях; Луну мы пользуемся при нашем времяисчислении, ей мы обязаны суточными приливами и отливами океана, и, может быть, она оказывает некоторое влияние на нашу погоду и наше здоровье.

Иозеф Иоганн Литров*, 1834



Луна является спутником Земли. Но ее можно и повесить рангом: Земля — Луна может рассматриваться как двойная планета. Для этого есть основательные причины.

Спутник вращается вокруг центра своей планеты-хозяина, а Луна и Земля вращаются вокруг общего центра, не совпадающего с центром Земли. Луна движется по эллиптической орбите (близкой к круговой), один из фокусов которой находится на расстоянии $\frac{2}{3}$ от центра, т. е. ближе к поверхности, чем к центру Земли. Вокруг этого фокуса (так называемого барицентра) движется и сама Земля, совершая один оборот за лунный месяц.

Кроме того, если рассматривать Луну как спутник Земли, то следует отметить значительные величину и массу ее в сравнении с центральной планетой. Масса Луны в 81 раз меньше массы Земли. Между тем как масса самого тяжелого спутника солнечной системы, третьего спутника Юпитера, в 10 тысяч раз меньше массы центральной планеты. Также и диаметр Луны составляет $\frac{1}{4}$ земного, в то время как диаметр относительно самого крупного спутника Нептуна — Тритона — составляет только $\frac{1}{10}$ диаметра планеты Нептун.

Диаметр Луны в 3,7 раза, а плотность в 1,6 раз меньше, чем у Земли. На Луне все предметы становятся в 6 раз легче, чем те же предметы на Земле. Луна всегда обращена к Земле одной стороной.

Скорость движения Луны по орбите приблизительно 1 км/сек. Расстояние от Луны до Земли колеблется от 356 до 407 тыс. км. (Расстояние Земля — Луна было определено с точностью до ± 4 м американцами посредством луча лазера, посланного с Земли и отразившегося от вогнутого зеркала, поставленного на поверхности Луны

* Немецкий астроном.

Н. Армстронгом и Э. Олдрином, и составило 373 787 265 м.) Расстояние Луна — Земля менее 1% расстояний от наших соседних планет: Марса и Венеры, вот почему мы Луну назвали нашей соседкой.

Луна и Земля находятся на столь близком расстоянии друг от друга, что взаимное влияние их очень велико. О влиянии Луны на Землю мы писали в главе о Земле. Здесь же мы коснемся влияния Земли на Луну.

Барбара Мидлхёрст из Лаборатории Луны и планет в Тусконе (штат Аризона) сопоставила 599 наблюдений за различными «горячими» точками временных проявлений лунной активности, в частности за свечениями выделяющихся из лунных недр газов. При сопоставлении времени этих проявлений была обнаружена их связь с ритмом либрации * (покачивания) Луны. Было замечено, что максимум активности в форме свечения выделяющихся газов приурочен к кратерам Аристарх и Гассенди, к району которых отнесены максимум и минимум приливов твердой лунной оболочки.

Н. А. Козырев 3 и 19 ноября 1958 г. и 23 октября 1959 г. в кратере лунного вулкана Альфонс впервые наблюдал выход светящихся газов и исследовал спектр этого извержения. Это первое наблюдение «вулканической» деятельности на Луне произвело сенсацию во всем мире и вскоре было подтверждено наблюдениями как зарубежных, так и наших ученых для кратеров Аристарх, Кеплер, Платон и Моря Ясности. Н. А. Козырев в дальнейшем пришел также к выводу о наличии тесной связи между рядом вре-

* В астрономии либрацией называется периодическое движение какого-либо тела около положения равновесия. Так как скорость вращения Луны вокруг своей оси совпадает со скоростью ее обращения вокруг Земли, то Луна всегда обращена к нам одной стороной. Однако видимый центр обращенной к нам части Луны не совпадает с постоянной точкой лунной поверхности, а совершает небольшие периодические движения. Луна слегка покачивается по отношению к Земле как по долготе, так и по широте, т. е. справа налево и сверху вниз. Это позволяет нам видеть не точно половину поверхности Луны, а несколько больше. Причин, вызывающих либрацию, много. Одна из них — гравитационное влияние Земли на Луну, приводящее к образованию приливной вытянутости поверхности Луны по направлению к Земле (примерно на 500 м). Так как движение Луны вокруг своей оси происходит с равномерной угловой скоростью, а движение Луны по орбите вокруг Земли неравномерно (в перигее быстрее, чем в апогее), то гравитационное воздействие Земли на вытянутость Луны заставляет последнюю проделывать небольшие маятниковые колебания около своего среднего положения.

менных явлений (землетрясений, «вулканической» деятельности и т. п.) на Луне и на Земле.

Однако в последнее время современная вулканическая деятельность на Луне ставится под сомнение. Наблюдения Н. А. Козырева и других говорят лишь о дегазации лунных недр и выходе таких газов, как H_2 , CH_4 , NH_3 , и расщеплении последних на молекулярный углерод и азот. Газы скапливаются в трещинах и пустотах и под влиянием приливных сил Земли выбрасываются вместе с тонкой пылью. Частицы последней, создавая разность потенциалов, являются причиной тлеющих, светящихся разрядов. На Земле аналогичное происходит в облаках вулканического пепла, но из-за плотной земной атмосферы возникают не тлеющие, а искровые разряды молний.

Дегазация лунных недр позволяет нам предположить наличие на глубине высоких температур. Если допустить, что в лунных породах присутствуют связанные воды, то последние под влиянием высоких температур должны будут превратиться в свободные.

Общая плотность газа над лунной поверхностью не может превышать 10^{-12} г/см³. Такая плотность наблюдается в земной атмосфере на высоте около 180 км.

Еще до высадки человека на Луну (американских космонавтов) при ее облетах были выявлены отдельные площади с концентрацией масс, названные «масконами». По видимому, эта лава лунных недр с больших глубин и большей плотности, чем породы лунной литосферы.

Английский ученый З. Копал в 1960 г. высказал мнение, что лунные породы обогащены водой (2—3%). Возможно, что эта цифра несколько занижена, но близка к вероятной, так как земная литосфера содержит свободной и связанной воды, по подсчетам автора, в среднем около 5 вес. %.

Анализы лунных пород, доставленных «Аполлоном-11», показали, что эти породы принадлежат частично к вулканическим, а частично к метеоритным. Пыль имела серый цвет и резко отличалась от земной пыли; она была не рассыпчатая, а скользкая и слипающаяся. Лунная пыль содержала много (от 25 до 33%) мелких стеклянных включений, размером в десятые доли миллиметра, темно-коричневого, желтого и желтовато-коричневого цвета (рис. 47). Эти стеклянные включения имеют круглую, эллиптическую, сигарообразную и угловатую форму. Присутствие стекловидных включений обусловило

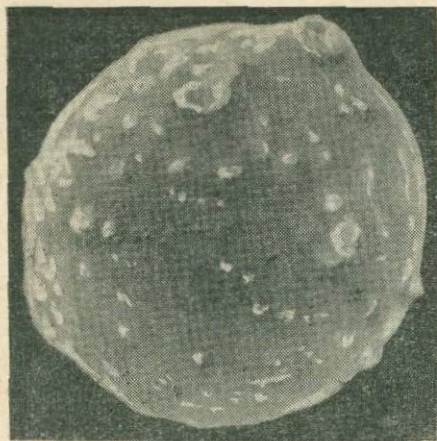


Рис. 147. Один из многочисленных стеклянных шариков с поверхности Луны; находившихся в образцах лунных пород и пыли, доставленных «Аполлоном-11». Увеличено в 6 тыс. раз. Действительный размер шарика около 0,01 мм в диаметре.

скользкость лунной поверхности, по которой оказалось легче прыгать, чем ходить.

Что касается скальных образцов с острыми углами, то на их поверхности видны белые и серовато-коричневые сверкающие кристаллы. Скальные обломки, по-видимому, вулканического происхождения.

Но если попытаться выразить состав этих пород геохимически (в элементах) и высчитать для лунных пород средние значения из пяти анализов данных «Сервейер-5, 6, 7» и образцов, доставленных «Аполлоном-11», что и было нами сделано, то можно получить следующую геохимическую характеристику (рис. 48).

Породы, доставленные советской АМС «Луна-16» и американскими «Аполлонами-11 и 12», близки по составу к земным щелочным толеитовым базальтам. Обращает внимание пятикратное увеличение в лунных породах титана. Вообще в лунных породах большое содержание тяжелых элементов: титана, иттрия, циркония, и др. Что касается радиоактивных элементов (U, Th, K^{40}), лунные породы в этом отношении аналогичны земным базальтам.

Разумеется, что эти данные и выводы из них являются предварительными, так как образцы пород взяты из однообразных мест, в небольшом количестве и только с лунной поверхности. Нет никаких сообщений ни о количестве связанной в образцах воды (H_2O , OH, H_3O), ни об ее обнаружении. При нагреве лунных образцов до $800^\circ C$ выделялись CO и CO_2 . Среди образцов пород, доставленных с лунной поверхности, был обнаружен

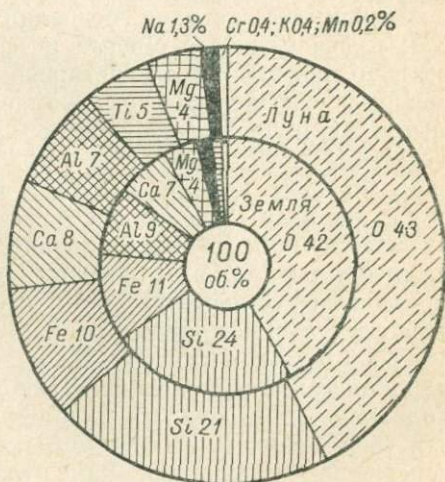
новый минерал, названный по именам трех американских астронавтов (Армстронга, Коллинза и Олдрина) армарколитом, состав его — $(\text{Fe}_{0,5}, \text{Mn}_{0,5}) \text{Ti}_2\text{O}_5$.

Для лунной поверхности характерны ударные процессы, сопровождающиеся плавлением, разбрызгиванием, испарением и конденсацией. Суточные температурные колебания лунных пород не распространяются глубже, чем на 1 м. За 7 месяцев работы сейсмографа, установленного в районе Океана Бурь экипажем «Аполлона-12», было зарегистрировано 160 толчков лунотрясения, из которых 14 связаны с приливными явлениями под влиянием земного притяжения.

Можно предполагать на небольшой глубине в лунных породах, на значительной части, а может быть и на всей площади Луны наличие постоянно мерзлых пород. Мощность этой мерзлоты должна быть различной на экваторе и у полюсов, ее колебания возможны в очень широких пределах (от нескольких до сотен метров). Весьма вероятен деятельный слой, т. е. такой слой пород, который периодически замерзает и оттаивает. Ведь температура покровных отложений Луны в центре освещенного Солнцем диска планеты $+110^\circ \text{C}$, в узкой зоне смены дня на ночь (в зоне вечернего терминатора) она падает до -50°C , а возле зоны смены ночи на день (перед восходом Солнца) температура падает до -180°C . В первом случае падение температуры в среднем за 1 ч происходит на 1°C , а во

Рис. 48. Сравнительная геохимическая характеристика лунных и земных пород (в весовых процентах).

Внутренний круг — породы Земли; наружный круг — породы Луны. Лунные породы выражены округленными и осредненными значениями из пересчитанных данных, полученных на аппаратах «Сервейер-5, 6 и 7», и по образцам, доставленным «Аполлоном-11». Все цифры по Луне взяты из различных американских источников.



втором — около $0,4^{\circ}\text{C}$ в час. От восхода до полудня проходит примерно 164 ч, и температура поднимается с -180 до $+110^{\circ}\text{C}$, т. е. примерно $1,8^{\circ}\text{C}$ в час. Все это, разумеется, наблюдается вдоль экватора. Таким образом, в экваториальной зоне положительные температуры поверхности Луны держатся в течение 174 ч, а отрицательные — 484 ч, т. е. 73% времени лунных суток. Отсюда возможность наличия «вечной» мерзлоты даже на экваторе. В высоких широтах условия для образования мерзлоты еще более благоприятные.

И все же под большей или меньшей толщей мерзлых пород температура их будет повышаться главным образом (но не единственно) в результате радиоактивного разогрева, как и на Земле. Предполагается, что температура около 1100°C , присущая в земных условиях глубине около 50 км, на Луне может быть встречена на глубине 350 км. В центральной части Луны температура едва ли больше 2000°C . Высокие температуры вызовут выделение физически и химически связанных в породах вод, которые окажутся в свободном состоянии. Их периодические выходы на поверхность весьма вероятны и вызовут немедленное замерзание и испарение воды частично уже в приповерхностной зоне, на глубине первых сантиметров — одного метра (рис. 49).

Таким образом, несмотря на безводность поверхности Луны, в ее недрах возможна встреча природных вод различных температур, различных минерализаций во всех трех фазах — твердой, жидкой и газообразной.

Любопытна история освоения Луны человечеством. Как и все наиболее смелые и казавшиеся еще недавно реально невозможными достижения науки и техники начинались с фантастических романов. Луна в этом отношении не является исключением. Как сообщает «Санди Телеграф» из Лондона, еще в 1638 г. Херефордский епископ Фрэнсис Годвин выпустил первый фантастический роман на тему «Человек на Луне», в котором испанский путешественник Доминго Гонсалес отправился на Луну на специально для этого выращенной породе лебедей и высадился на нее через 11 суток. Английский роман вышел в свет через 29 лет после того, как Галилей впервые направил свой телескоп на Луну. В то время свет Луны считался мерцанием лунных океанов. Любопытно, что автор романа Годвин не последовал за мнением большинства, а высказал свое новое, и свет лунной поверхности он объяснил совершенно правильно, как отраженный свет Солнца.

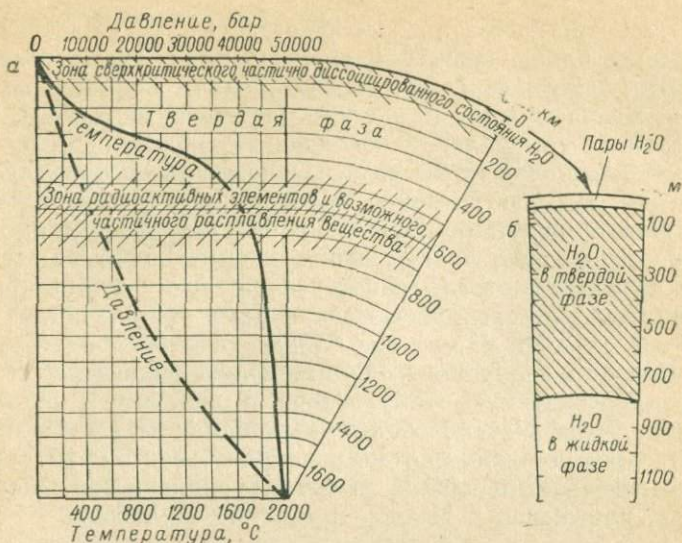


Рис. 49. Схема гипотетической модели внутреннего строения Луны (а) и селеногидрологическая схема (б) первого километра от поверхности Луны для высоких широт (по В. Ф. Дерпгольцу, 1965).

Он населил Луну человекоподобными лунарами, более совершенными в моральном отношении, чем люди.

Еще более любопытно, что он наделил лунаров ростом, в четыре раза превышающим рост земных людей, а длительность жизни их 1000 лет. Фантастика и интуиция автора имели под собой логически правильные тенденции, отвечающие современным научным представлениям. Учитывая в шесть раз меньшую силу тяжести на Луне, человекоподобное существо оправданно могло бы иметь там значительно большую массу. Исходя же из меньшей изнашиваемости его органов (по той же причине) жизнь такого существа может быть продолжительнее жизни землянина — соображение, которое уже было в последнее время, независимо от епископа Годвина, высказано современными канадскими космобиологами.

В 1970 г. на Луну, в район Моря Дождей, была направлена первая самоходная советская установка «Луноход-1», в задачу которой помимо отработки и проверки ходовой части входило определение физико-химических особенностей лунного грунта, лазерная локация светотражателя, определение радиационной обстановки в пространстве и на поверхности Луны.

Несмотря на довольно активное изучение Луны, знания о нашей ближайшей соседке очень невелики, особенно в части такого важного вещества, каким является вода. Было время, и всего-то около 60 лет назад, когда в соответствии с гляциальной космогонией, полагали, что вся Луна — это одна глыба льда. После анализов пород, слагающих лунную поверхность, некоторые исследователи начинают впадать в другую крайность, утверждая, что Луна совершенно лишена всякой воды. Вероятнее всего, что истина лежит где-то посередине между этими крайними точками зрения, и недалеко то время, когда мы узнаем, к какой из них она ближе.

Недавно получены сведения, подтверждающие селеногидрологическую схему автора о наличии в лунных недрах воды. Установленные «Аполлонами-12 и 14» приборы зафиксировали фонтанирование водяного пара («лунного гейзера») в районе восточной оконечности Океана Бурь, длившееся в течение примерно 14 часов.

«ПЛАНЕТА ВОЙНЫ» — МАРС



Мы не можем не признать, что Марс во многих отношениях имеет гораздо больше сходства с нашей Землей, чем всякое другое из известных нам небесных тел. Однако нет недостатка также и в различиях между этими двумя планетами.

Иозеф Исидори Литтлов, 1834

Марс — самая далекая от Солнца планета земной группы. Она в среднем в полтора раза дальше от Солнца, чем Земля, и потому получает от Солнца тепла в 2,25 раза меньше, чем Земля.

Марс назван по имени мифического бога римлян Марса — бога полей, пастбищ и войн. Иногда Марс называли «кровавой» планетой не только потому, что она была как бы символом войн, а за ее красно-оранжевый цвет, напоминающий кровь. Причина такого цвета будет разъяснена в дальнейшем.

Марсианский год более продолжителен, чем земной, 687 земных суток, а марсианские сутки почти равны земным — около 25 ч.

Ни одна из планет солнечной системы не привлекала к себе столько внимания со стороны писателей-фантастов, создавших огромное количество повестей о жизни марсиан. Объясняется это не столько близостью планеты к Земле, сколько сравнительно легкой доступностью (благодаря прозрачности ее атмосферы) для обозрения ее поверхности с помощью даже не очень сильных телескопов, а главное из-за обнаружения на поверхности этой планеты итальянским астрономом Скиапарелли своеобразной сетки — системы каналов, которые считались искусственными водными каналами, построенными разумными существами — жителями Марса. Когда же было замечено раздвоение каналов в форме параллельных линий, уверенность в том, что это гидротехнические инженерные сооружения марсиан, возросла еще больше.

До какой степени в начале даже нашего века было модным и всеобщим предположение о вероятности разумной жизни на Марсе, показывает сенсация, сообщенная астрономом В. Пикерингом 8 декабря 1900 г. из Ловелловской обсерватории (Дуглас). В посланной им телеграмме, облетевшей весь мир, Пикеринг сообщал, что на северном краю Икарыйского моря на Марсе, в продолжение 70 мин был виден яркий выступ. Совершенно серьезно обсуждался вопрос о «сигнальных огнях» жителей Марса.

Скиапарелли, «открывший каналы» на Марсе, вел наблюдения из своей обсерватории в 8-дюймовый телескоп. В начале XX в. французский астроном Антониади наблюдал во время великого противостояния Марса (в момент наибольшего сближения Марса с Землей) поверхность планеты с помощью 32-дюймового рефрактора из Медонской обсерватории близ Парижа. В моменты наибольшего спокойствия и прозрачности земной атмосферы Антониади обнаружил, что «каналы Скиапарелли» не являются сплошными линиями, а распадаются на множество неправильных пятнышек. Эти группы пятнышек сливались при наблюдении в слабые телескопы в сплошные линии. Таким образом были «закрты» «каналы Скиапарелли».

Попробуем охарактеризовать Марс по последним данным, полученным летом 1969 г. американскими космическими зондами «Маринер-6 и 7», пролетевшими от планеты на расстоянии 3430 и 3200 км соответственно. Оба аппарата исследовали атмосферу и поверхность Марса с помощью четырех телевизионных камер и радиолокационного просвечивания, причем «Маринер-6» захватил северное полушарие и приэкваториальные области, а «Маринер-7» преимущественно южное полушарие.

Суммируя полученные данные, можем сказать, что поверхность Марса похожа на лунную, но на Марсе были встречены крупные ровные площади, например Эллада (Hellas), диаметром около 250 км почти без единого кратера, чего нельзя встретить на Луне. Эта впадина расположена ниже среднего уровня на 3—5 км. Причины последнего неясны. Вообще рельеф Марса очень похож на рельеф Луны: большое количество кратеров (с диаметрами до 500 км), с неровными кромками, моря, континенты, кальдеры (вулканические котловины) и т. п. Разность между высотами гор и пониженными участками поверхности Марса до 12 км.

Разумеется, легенда об искусственных каналах оказалась раз и навсегда похороненной. Линии, образующие сетку на поверхности Марса, — это сбросы, трещины, разломы, цепочки кратеров, хребты и другие формы рельефа, имеющие четыре направления: восточно-западное, меридиональное и два направления под углом 45° к меридиональному (диагональные). Атмосфера Марса очень разреженная. Атмосферное давление около поверхности планеты в зависимости от ее высоты колеблется по измерениям, произведенным по методу радиозатемнений межпланетными станциями «Маринер-4, 6 и 7», в пределах 3,5—

9 мбар. Минимальное атмосферное давление 3,5 мбар отмечено на возвышенной поверхности, где температура минус 60°C . Среднее давление у поверхности Марса такое же, как в земной атмосфере на высоте примерно 30 км.

Температура поверхности Марса, по измерениям американских межпланетных станций, для различных участков планеты в зависимости от освещенности колеблется от $+24$ до -120°C .

Прежде чем перейти к водной характеристике Марса, следует обратить внимание на ярко выделяющиеся на прилагаемой фотографии ослепительной белизны марсианские шапки, которые в зимнее время увеличиваются, а летом уменьшаются, иногда южная шапка может исчезнуть совсем (рис. 50). В летнее время по контуру этих белых площадей появляется довольно широкая темная кромка, указывающая, по-видимому, на увлажненную полосу, возникающую в результате таяния белой шапки.

Оба последних американских аппарата, помимо температуры, давления, рельефа поверхности, определили и ориентировочный состав атмосферы. В атмосфере Марса были обнаружены водород, кислород, углекислота и окись углерода. Ни атомарного, ни молекулярного азота обнаружено не было. Предполагается, что на 90% атмосфера планеты состоит из углекислоты. Обнаруженный водяной пар существует, по-видимому, в форме слоя водяного тумана. Выявлены также характерные части спектра твердой углекислоты. Белые полярные шапки, вероятно, представляют собой тонкий слой водного инея, хотя не исключена примесь твердой углекислоты. Наблюдающиеся

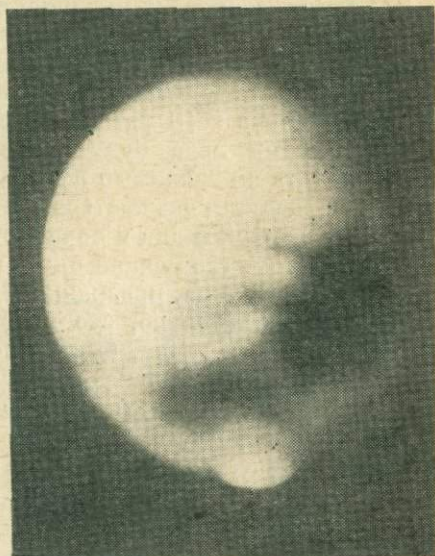


Рис. 50. Марс (снимок получен на обсерватории Пик-дю-Миди). Хорошо просматриваются южная снежная, околополюсная, марсианская шапка и облачность.

в атмосфере Марса неплотные, редкие облака, возможно, так же состоят из парящих в атмосфере кристалликов водного льда, подобно перистым облакам в атмосфере Земли. Правда, данные «Маринер-7» как будто отвергают возможность присутствия заметного количества пыли или облаков, которые могли бы поглощать ультрафиолетовую радиацию.

Можно ли допустить наличие на поверхности Марса водоемов (моря, озера) или водотоков (реки, ручьи)? На этот вопрос приходится ответить отрицательно. Водоемы диаметром более 300 м исключаются совершенно, так как в противном случае при прозрачной атмосфере планеты наблюдались бы яркие блики Солнца. Да и телекамеры не передали на Землю ничего похожего на покрытые водой площади.

Зато довольно уверенно можно предположить, что горные породы, которыми представлена поверхность Марса, близки к гидрату окиси железа, так называемому лимониту ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). В состав этой породы входит, как видно из формулы, приблизительно 34% воды. Эту воду можно получить из породы, если ее сильно нагревать. Порода имеет оранжево-бурый цвет и легко распыляется. При разложении она распадается на красный железняк (гематит) и воду. Достаточно 5—6% этого материала, чтобы придать пескам и глинам ржавый или красный цвет. Вот, быть может, и причина происхождения цвета планеты.

На Марсе испарение воды иней полярных шапок должно происходить из-за разреженности атмосферы по крайней мере в 10 раз быстрее, чем на Земле, при этом кристаллики льда будут сразу, минуя жидкую фазу, переходить в невидимый пар, который будет переноситься в атмосфере или осаждаться на теневых сторонах планеты.

Полоса смены дня и ночи (зона терминатора) будет служить местом, где ночной иней, испаряясь под лучами восходящего Солнца, превращается непосредственно в пары воды. Действительно, это явление наблюдалось в форме белых полос и пятен, быстро исчезающих.

Совместными спектрографическими работами ученых Калифорнийского технологического института и Техасского университета (США) в 1969 г. было определено общее количество воды на Марсе в объеме $1,6 \text{ км}^3$ (оно может составить слой толщиной в 50 мкм* по всей поверх-

* На Земле в 50 раз больше — 2,4 мм.

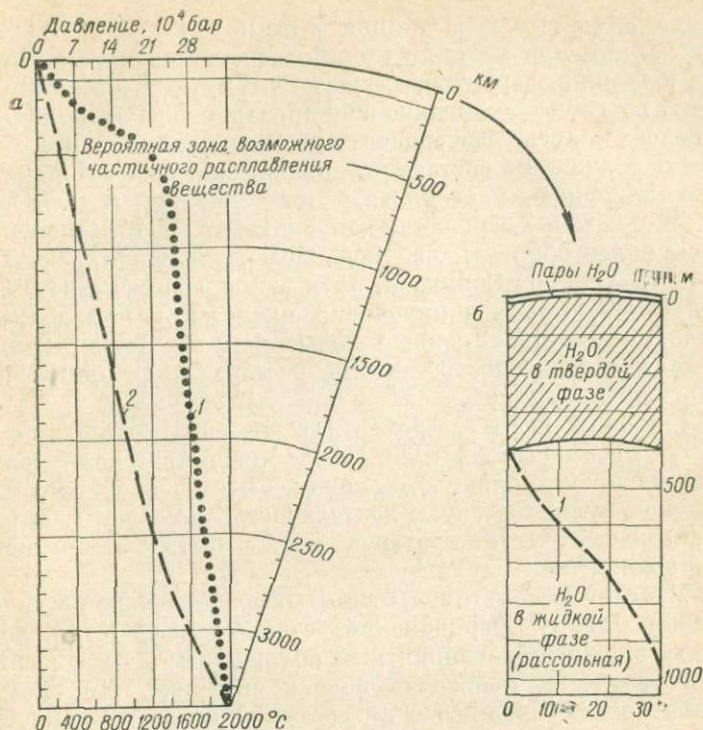


Рис. 51. Схема гипотетической модели внутреннего строения Марса (а) и аэро-гидрологическая схема (б) первого километра от поверхности Марса (по В. Ф. Дерпгольцу, 1965 г.).

1 — температура; 2 — давление.

ности планеты). Полярные шапки, вероятно, состоят из смеси углекислоты и воды.

Вопрос о возможности жизни на планете связан в первую очередь с наличием воды в атмосфере, а также температурой и давлением, т. е. климатом. Климат Марса суров. Его можно сравнить с некоторыми районами Земли, например, Якутией, где породы находятся в постоянно мерзлом состоянии даже на значительной глубине (порядка до 1,5 км), хотя летняя полуденная температура воздуха здесь доходит до $+34^{\circ}\text{C}$ (при среднегодовой -16°C). Нечто подобное следует ожидать и на Марсе.

В районе полюсов и высоких широт марсианские породы, по-видимому, скованы постоянной, а, может быть, даже сплошной мерзлотой до глубины примерно 1 км. В экваториальной зоне мерзлота пород, конечно, меньше,

появляются сквозные талики*. Как и у нас на Земле, эти талики при наличии крупных разломов пород, сбросов и трещин, вероятно, служат теми путями, по которым могут подниматься жидкие подмарсианские воды. Эти воды в недрах Марса, безусловно, существуют, так как резких различий в составе материала, слагающего планеты земной группы, предполагать нет оснований (рис. 51).

Зато есть все основания допустить, что подмарсианские воды более обильны, чем подземные, так как Марс находится дальше от Солнца и, хотя атмосфера его уже была неплотная, при возникновении планеты в ней должно было сохраниться больше воды, чем на Земле. Этому в дальнейшем способствовала и мерзлотная покрывка марсианских пород.

Глубокие недра Марса имеют температуры, по-видимому, превышающие 1000°C . Наличие кратеров указывает на происходившую, а может быть еще и происходящую вулканическую деятельность, так как только образование части кратеров может быть метеоритного происхождения.

У Марса два спутника, открытых сравнительно недавно. Весной 1877 г. американский астроном Асаф Холл, воспользовавшись благоприятным положением Марса, решил систематически проводить поиски спутника. Но внимательно ознакомившись с литературой по этому вопросу, он понял, что шансы на успех совершенно ничтожны, и уже решил отказаться от этой затеи. Только по настоянию жены он выполнил первоначально задуманное. Целую неделю он упорно производил поиски, которые неожиданно привели его к двойному успеху: вместо одного Холл обнаружил два спутника. Самое удивительное было то, что внутренний спутник за марсианские сутки делает $2\frac{1}{4}$ полных оборота вокруг планеты и для наблюдателя, находящегося на Марсе, этот быстро движущийся спутник восходит на западе, а заходит на востоке. Внешний же спутник совершает свой полный оборот вокруг Марса приблизительно за пять суток.

Оба спутника получили названия, взятые также из греческой мифологии. Внутренний спутник назван Фобосом, что значит — ужас, а внешний — Деймосом, в переводе — страх.

* Таликами называются участки талых пород среди мерзлых толщ. Сквозной талик пронизывает всю толщу мерзлоты.

Для воображаемых жителей этих двух спутников сама планета Марс должна представляться ни с чем не сравнимой, величественной и поистине великолепной картиной. Поверхность Марса с Фобоса будет представляться в 6,7 тысяч раз больше Солнца, видимого с Земли, а самое главное гигантское тело планеты на небосводе Фобоса 2 раза в сутки будет проходить через все фазы, проходимые нашей Луной за месяц.

Интересно, что первым человеком, который уверенно говорил о наличии двух спутников Марса, был не астроном, и даже не ученый, а великий ирландский сатирик пастор Джонатан Свифт, который еще в 1726 г. приписал академиком фантастической страны Лапутия открытие двух маленьких спутников Марса: внутреннего, удаленного на три диаметра от центра Марса и обращающегося вокруг него в течение 10 ч, и внешнего, удаленного от центра планеты на пять диаметров с периодом обращения 21 ч 30 мин.

Эти два спутника в действительности были открыты лишь через 151 год после Свифта, и они действительно оказались очень маленькими: радиус Фобоса 7 км, а Деймоса — 5,5 км (рис. 4). При этом Свифту каким-то чудом удалось угадать скорости их обращения вокруг Марса, для Фобоса с точностью до 25%, а для Деймоса с точностью до 40%.

Итак, свободной воды в атмосфере и на поверхности этой планеты мало. Но связанная вода, содержащаяся в породах Марса, по-видимому, весьма обильна — она может составлять одну треть их веса. Еще более обильны свободной водой должны быть марсианские недра. При выходе глубинных вод на поверхность они должны испаряться (если это происходит на дневной стороне в низких широтах), далее вода (учитывая, что сила тяжести на Марсе $\frac{2}{5}$ земной, а космическая скорость в $2\frac{1}{4}$ раза меньше) будет быстро диссипировать, т. е. улетучиваться в межпланетное пространство в форме водорода и гидроксила. Если же выход воды будет происходить на ночной стороне или в высоких широтах, то вода будет быстро превращаться в лед, а последний также испаряться и улетучиваться в значительной степени в пространство. Этот процесс, вероятно, непрерывно происходит на поверхности и в атмосфере Марса. Ведь космическая скорость на Марсе всего 5 км/сек, а на Земле 11,2 км/сек.

Ниже помещаем сокращенную схему зональности по широтам подмарсианских вод, составленную Г. Н. Каттерфельдом и П. М. Фроловым [1967] (табл. 12).

Таблица 12

Схема размещения подмарсианских вод

Широтные зоны	Градусы	Водная характеристика пород Марса
Полярная	-90 до -40	Область сплошного распространения вечномерзлых пород, с вероятной мощностью на полюсах порядка 1 км
Субтропическая	-40 до -30	Пояс почти сплошного распространения вечной мерзлоты. Возможны выходы горячих и холодных источников
Тропическая	-30 до -20	Вечномерзлый слой имеет меньшую мощность. Возможны выходы подмерзлотных вод холодных и горячих источников
Экваториальная	-20 до +20	Пояс островного распространения вечной мерзлоты
Тропическая Субтропическая Полярная	+20 до +30 +30 до +40 -40 до +90	В связи с меньшей температурой северного полушария Марса по сравнению с южным в северных умеренных широтах следует ожидать относительно большего развития вечной мерзлоты и меньшего выхода подмарсианских вод

ПЛАНЕТЫ-ГИГАНТЫ



Будем довольны тем, что природой предоставлено нам в мировом пространстве место, одинаково удаленное от всяких крайностей: и от жары Меркурия, и от холода Нептуна.

Иозеф Иоганн Литров, 1904

а поясом астероидов на громадном расстоянии друг от друга движутся внешние планеты-гиганты, резко отличающиеся по своему составу, плотности и размерам от планет земной группы. К этим колоссам относятся четыре планеты: Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун.

Самым крупным космическим телом солнечной системы (не считая Солнца) является Юпитер, радиус которого в 11,1, а масса в 316,7 раз больше земных. Зато плотность этой планеты почти в 4 раза меньше земной. Сила тяжести на поверхности Юпитера в 2,5 раза, а параболическая скорость в 5,4 раза больше, чем у Земли (2510 см/сек² и 61 км/сек² соответственно).

Год на Юпитере длится 4329 земных суток (в 11,8 раз дольше земного). Юпитер имеет 12 уже открытых спутников с диаметрами от 20 до 5480 км (Ганимед). Возможно, что существуют пока еще неизвестные спутники. Наименьшее расстояние спутника от Юпитера — 181,5 тыс. км, наибольшее — 23 700 тыс. км. Период обращения спутников колеблется от 0,5 до 758 земных суток (для самого дальнего).

У планеты Юпитер (рис. 52) имеется мощная атмосфера, толща которой, хотя точно не определена, но, вероятно, только до наружного облачного слоя составляет около 100—150 км. Модель атмосферы Юпитера представлена на рис. 53. По этой модели в атмосфере возможно содержание воды в твердой, жидкой и парообразной фазах. На рис. 54 показан предположительный состав атмосферы Юпитера. Температура наружных слоев атмосферы оказалась около -168°C , а на верхней границе облачного слоя -123°C .

Юпитер при наблюдении в телескоп виден в форме диска со светлыми и темными полосами, идущими параллельно экватору. На поверхности между экватором и северным полюсом постоянно видно большое красное пятно, природа которого весьма загадочна. Оно наблюдается,

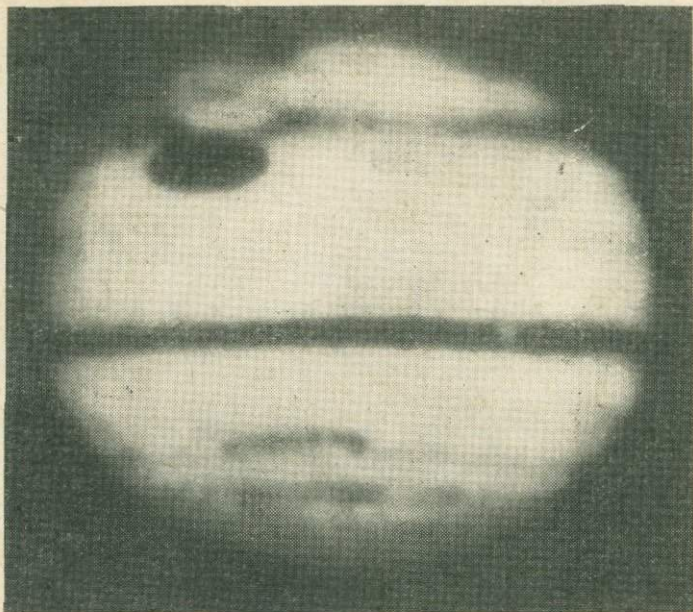


Рис. 52*. Самая крупная планета солнечной системы — Юпитер — с мощной атмосферой и облачным слоем.

На снимке четко выделяется знаменитое «Красное пятно».

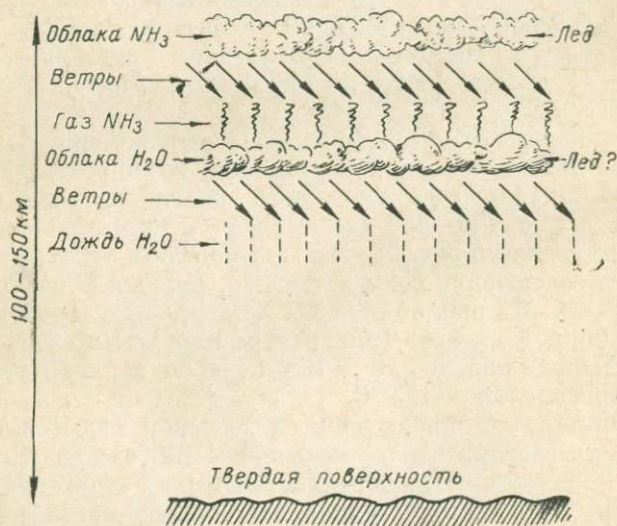
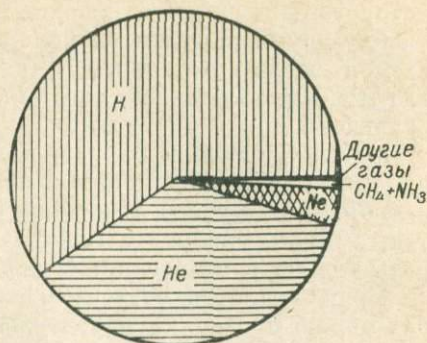


Рис. 53. Схема возможного строения атмосферы Юпитера (по Д. Брандту и П. Ходжу, 1964).

Рис. 54. Диаграмма количественного отношения различных компонентов состава атмосферы Юпитера

(по Дж. Орингу, 1966).
В «другие газы» входит и H_2O во всех фазах.



по крайней мере, уже больше 300 лет (в 1664 г. английский ученый Хук зарисовал его). В то время как многочисленные темные и светлые пятна облачного покрова Юпитера движутся с разной скоростью и существуют недолго, таинственное красное пятно овальной формы, равное по площади земному шару (35×11 тыс. км) за большой промежуток времени мало изменило свое положение.

Что касается других внешних планет, то наши знания о них очень скудны. Во всяком случае, все они по своим размерам могли бы уместиться, как в чемодане, внутри Юпитера.

Остановимся кратко на Сатурне (рис. 55) — знаменитом красавце нашей планетной системы, вдоль экватора

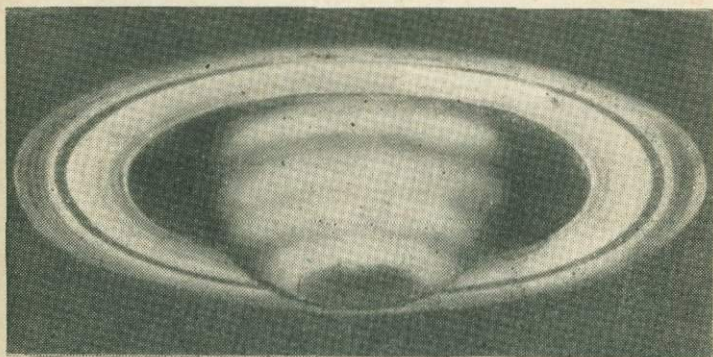


Рис. 55. Планета Сатурн

(снимок получен на обсерватории Пик-до-Миди). Между двумя наружными кольцами находится щель Кассини. В просвете между облачным покровом и внутренним кольцом свободно может поместиться Земля.

которого идут широкие плоские кольца (А, В и креповое). Между двумя наружными кольцами находится так называемая щель Кассини. Ширина всех колец вместе 113 тыс. км, толщина их очень мала, во всяком случае не больше 60 км.

Масса Сатурна в 95 раз, а параболическая скорость в 3,3 раза больше земной. Плотность почти в 8 раз меньше земной ($0,7 \text{ г/см}^3$). В атмосфере Сатурна обнаружены метан, аммиак, водород и гелий. О воде пока можно говорить только в отношении снежных колец Сатурна.

Уран и Нептун изучены очень слабо, и в их атмосферах можно предполагать содержание тех же компонентов, что и для Урана и Сатурна.

Температуры наружных облаков Урана и Нептуна, во всяком случае, менее минус 185°С .

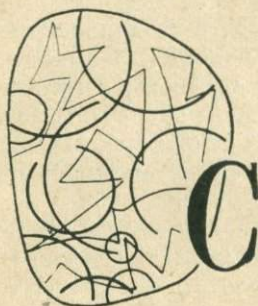
О Плуtone нам почти ничего не известно. По размерам и массе эта планета похожа на Землю.

Что-нибудь сказать о воде на трех последних, самых отдаленных планетах трудно.

VI. ВОДНЫЙ МИРОВОЙ КАЛЕЙДОСКОП

*Мне легче изучить движение спутников Юпитера,
чем движение воды.*

А. К. Бисвас, 1965



СЛЕДУЕТ отличать происхождение воды, ее первичное образование как растворителя от дальнейшей миграции и от образования в ней различных растворов. О происхождении и воды речь была в специальной главе, здесь же мы рассмотрим пути миграции воды и различные видоизменения ее формы и состава.

Причисленный к одному из семи мудрецов древности основоположник греческой науки, известный философ, математик и астроном Фалес Милетский (624—548 до н. э.) дал представление о мире как о едином и целостном создании. Он утверждал, что Вселенная периодически возникает из первоначала и вновь в него погружается. Первоначалом и сущностью всего является вода. Фалес Милетский полагал, что морская вода ветром вгоняется в земные недра и под давлением горных пород поднимается вверх, давая начало источникам и питая реки. В этом построении уже таятся зачатки представлений о круговороте воды, которые, вероятно, были у человека и значительно более ранних эпох.

Позднее греческий философ и математик Платон (427—348 до н. э.), последователь Сократа, утверждал, что основной источник воды — океан. Из

океана воды через тартар (отверстие на дне океана) проникают в глубь Земли, а оттуда поднимаются и, изливаясь на земную поверхность, вновь сливаются в океан. Здесь мы имеем уже бесспорное представление о круговороте воды, захватывающем однако только поверхностные и подземные воды.

Ученик Платона, врач, естествоиспытатель и философ, воспитатель Александра Македонского, великий Аристотель (384—322 до н. э.) развил представление своего учителя и дал хотя и своеобразное, но в общем правильное представление об испарении воды с поверхности, о ее сгущении (конденсации) в холодной атмосфере до жидкого состояния, в частности в пещерах, о ее дальнейшем проникновении в земные недра, и, наконец, о выходе ее оттуда в форме источников на поверхность, о питании рек и озер. Здесь уже в круговорот воды вовлечены не только поверхность и недра Земли, но и атмосфера. Правда, сгущение воды из пара в жидкость представлялось ему как превращение одних элементов в другие.

Древнеримские поэт и естествоиспытатель Тит Лукреций Кар (95—55 до н. э.), ученый Кай Секунд Плиний Старший (23—79 до н. э.), философ Люций Анней Сенека (3 до н. э. — 65 н. э.) высказывали аналогичные, близкие к Аристотелевым суждения.

В I в. н. э. римский писатель Марк Витрувий Поллио в сочинении «Архитектура» («De architectura») изложил теорию круговорота воды, частично напоминающую современную.

Через полтора тысячелетия известный ученый монах-иезуит Атанасиус Кирхер (1610—1680), естествоиспытатель, математик, физик и лингвист, в книге «Подземный мир» (Mundus subterraneus) изложил подробно представление о круговороте воды в природе. Кирхер создал теорию вулканизма и циркуляции воды внутри тела Земли. По его мнению, ядро Земли представляет собой огненно-жидкую массу, окруженную твердой корой, в которой расположены очаги магмы, изливающейся через жерло вулканов. Все это очень близко к современным взглядам, хотя и было высказано в середине XVII в. По этим воззрениям в коре рассеяны также пустоты, наполненные водой, в которые она поступает через воронки со дна океана, образуя громадные водовороты. Из пустот вода поднимается либо в виде пара, нагретого магмой, образуя горячие источники, либо по капиллярам пород поступает в горные пещеры.

XVII век особенно богат разнообразием и фантастичностью представлений на этот счет. Например, Иоганну Кеплеру (1571—1630) Земля представлялась огромным чудовищем, внутри которого функционируют органы, напоминающие органы животных. Это чудовище поглощает воду океана, переваривает и усваивает ее, а отбросы выделяет через источники. Таким образом, круговорот воды приравнивался к обмену веществ в живом организме. Теория Кеплера изложена в книге, изданной в Линце в 1619 г. под названием «Гармония мира».

Подобные взгляды сохранялись еще даже и в XIX столетии. Знаменитый английский астроном Эдмунд Галлей (1656—1742) первым осознал с научных позиций все величие и значение большого круговорота воды, названного им «Grand Phenomenon» — «Великое явление природы».

Любопытно, что начиная с первых веков до нашей эры и кончая нашим временем всем без исключения представлениям родственна одна общая черта — вода наделена свойством совершать круговороты. Ни в одной гипотезе ни словом не затрагивается собственно вопрос о происхождении воды. Речь идет только о ее круговоротах.

Дальнейшее развитие взглядов на воду и ее круговорот может быть изложено очень кратко. Главным камнем преткновения служили подземные воды. Одни утверждали, что подземные воды произошли за счет выпадающих атмосферных осадков — дождя и снега. Эта теория была разработана французским физиком Мариоттом на пороге XVIII в. Другие считали, что подземные воды образуются за счет паров воды атмосферы и их конденсации в скважности пород, т. е. подземной росы. Одним из особенно ярых защитников этого направления в последней четверти XIX в. был немецкий инженер Отто Фольгер. Как во всяком честном споре, правыми оказались обе стороны. Но ни одна из теорий ни словом не обмолвилась о происхождении воды, а трактовала только круговороты.

Лишь выдающийся ум австрийского геолога, венского профессора Эдуарда Фридриха Зюсса (1831—1912) проник в сущность вопроса о происхождении воды, объяснив ее появление выделением из расплавленной магмы.

Переходя к современным представлениям о круговоротах воды, следует подчеркнуть их исключительное многообразие. Но задача науки, как сказал Платон, «открывать

единое во многом», т. е. схематизировать и обобщать великое разнообразие природных фактов.

Что же такое круговорот воды? Под этим термином кроется понятие движения одних и тех же молекул воды по какому-то пути с начальным отправным пунктом и приход их в конечный пункт. Однако далеко не все молекулы воды, вышедшие со старта, придут к финишу. Может быть случай, когда по пути все они сменяются другими, попавшими со стороны. При рассмотрении круговоротов воды это обстоятельство не учитывается. Круговороты воды могут быть разделены на отдельные с х е м а т и з и р о в а н н ы е группы, причем деление можно производить по разным принципам. Приведем несколько примеров.

Можно положить в основу деления круговоротов принцип нахождения их в геосферах. Тогда мы будем иметь следующие круговороты воды.

I. В атмосфере.

II. Между атмосферой и поверхностью литосферы.

III. На поверхности литосферы.

IV. Между поверхностью литосферы и ее недрами.

V. В недрах литосферы.

Круговороты I, III и V можно назвать малыми внутренними, а II и IV малыми межгеосферными. В отличие от этих малых круговоротов следует выделить Большой земной круговорот, захватывающий все наружные геосферы. Наконец, может рассматриваться круговорот воды между Землей и окружающим ее пространством.

В этих круговоротах будут участвовать молекулы воды или другие соединения водорода с кислородом как в жидком, твердом и газообразном состояниях, так и в физически и химически связанных состояниях, а также воды, входящие в состав как неживой, так и живой материи.

Другой принцип деления круговоротов — по главным формам движения материи в природе. Этот принцип использован химиком-океанографом В. И. Вульфсоном. По его мнению, возможен:

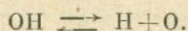
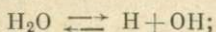
1) механический круговорот воды, сводящийся к горизонтальным и вертикальным перемещениям воды в жидком, твердом и газообразном состояниях. Сюда входят океанические течения, движения рек, плавучих льдов, горных ледников, облаков, пара в атмосфере и др. Этот круговорот переносит громадные количества как растворенных в воде веществ, так и находящихся в ней в форме

взвесей. Так, например, ежегодно в океан приносится с материковым стоком около 3 млрд. *т* растворенных веществ и значительно большее количество в форме взвешенных частиц;

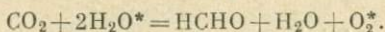
2) физический круговорот воды, связанный с изотопным разделением воды (см. табл. 1 и 2);

3) физико-химический круговорот воды, сводящийся к захвату (гидратации) или выделению (дегидратации) воды при формировании или разрушении кристаллической решетки минералов;

4) химический круговорот воды, представляющий собой процесс разложения и синтеза (образования) молекулы воды. Например:

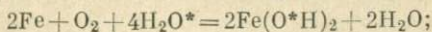


В частности, при фотосинтезе и дыхании он идет по схеме



Любопытно, что содержащийся в атмосфере свободный кислород 1,5 млн. км³ потребовал разложения 1,6 млн. км³ воды, что примерно отвечает 20 объемам Каспийского моря. В атмосферу ежегодно поступает в результате фотосинтеза растений 465 км³ кислорода. Таким образом, весь атмосферный кислород обновляется за 3,2 тыс. лет.

Не менее любопытно, что при образовании на железе ржавчины (гидрата закиси железа) в ней содержится кислород воды, а не кислород, растворенный в воде. Таким образом, при образовании ржавчины происходит как разложение, так и образование воды, что ранее не было известно и обнаружено недавно с помощью меченых атомов и может служить примером химического круговорота воды:



5) биологический круговорот воды, связанный с обменом веществ (метаболизмом) и образованием и разложением воды в живом веществе в процессе его жизнедеятельности. Этот круговорот включает в себя и все 4 предыдущих, но они связаны с жизнедеятельностью организмов. О нем мы говорили в специальном разделе выше;

6) технический круговорот воды как результат жизнедеятельности человека, производящего технические

* Звездочкой обозначена разновидность изотопов кислорода.

орудия. Промышленность потребляет громадные массы воды. Так, например:

На 1 т	Вода, т
выжигаемого кокса	20
перерабатываемой нефти	85
выплавляемого алюминия	120
выплавляемой стали	400
выплавляемой меди	5000
каучука	2500

Современный крупный металлургический комбинат потребляет 2 млрд. т воды в год. Столько же воды потребляет и тепловая электростанция.

По данным М. И. Львовича, общий баланс воды на Земле может быть представлен следующими величинами приходных и расходных статей (в грубом приближении), тыс. км³:

Приход	Расход
Осадки 108,4	Испарение 71,1
	Поверхностный сток 37,3
<hr/>	<hr/>
Всего 108,4	Всего 108,4

Следует оговориться, что этот расчет водного баланса очень несовершенен по следующим причинам. Осадки, бесспорно, занижены, так как совершенно не учтены горизонтальные осадки, конденсационные воды подземной и наземной росы, а также не учтен подземный круговорот и его участие в общем Большом круговороте. Наконец, остаются неучтенными расходная и приходная статьи воды Земли в целом как планеты. Все эти значения количественно наукой пока не могут быть выражены из-за отсутствия первичных замеров и соответствующей измерительной аппаратуры.

На рис. 56 графически и формулами представлены балансовые уравнения стоков в атмосфере, на поверхности Земли и в ее недрах, достаточно убедительные сами по себе без дополнительных объяснений.

К «водному калейдоскопу» можно отнести и процессы, приводящие к формированию химического состава природных вод, и в частности подземных.

Рассматривая формирование химического состава подземных вод, участвующих в круговоротах (т. е. содержащихся до средних глубин порядка 5 км), прежде всего

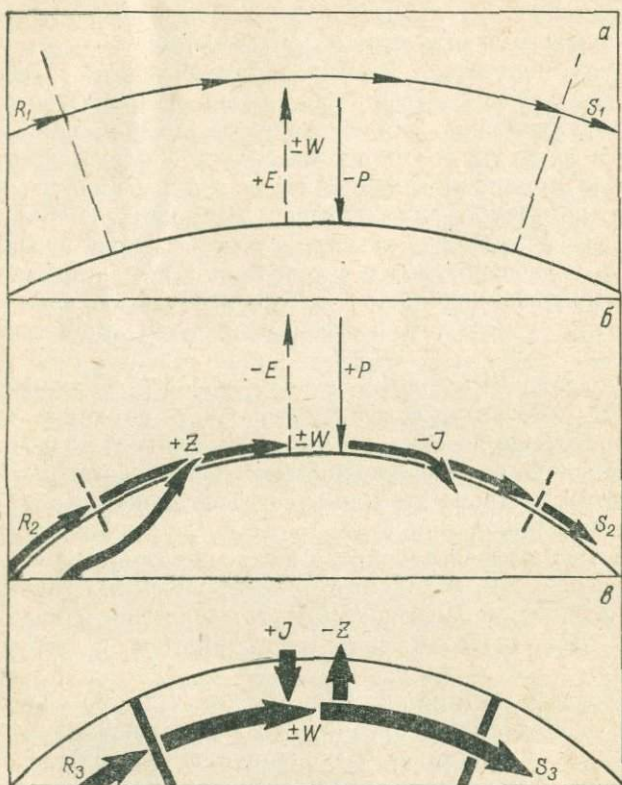


Рис. 56. Балансовые уравнения стоков

(по В. Ф. Дерпгольцу, 1964).

a — метеорный сток $S_1 = R_1 + E - P \pm W$; b — поверхностный сток $S_2 = R_2 + P - E - J + Z \pm W$; c — подземный сток $S_3 = R_3 + J - Z \pm W$.
 S_1 — метеорный сток с данной площади; S_2 — поверхностный сток с данной площади; S_3 — подземный сток с данной площадью; R_1 — поступление метеорным стоком с соседней площади; R_2 — поступление поверхностным стоком с соседней площади; R_3 — поступление подземным стоком с соседней площади; E — суммарное испарение (с суши, воды и транспирация); P — суммарные осадки (твердые, жидкие и парообразные); J — инфильтрация и инфлюация; Z — разгрузка через источники и каптажи; W — увеличение (+) и уменьшение (—) запасов воды на данной площади.

Литосфера в целом $S_{1+2+3} = R_{1+2} + P - E \pm W$. В общем виде $S_{1+2+3} = R_{1+2+3} \pm W$.

следует учесть тесную связь этих вод как с водами поверхности литосферы и метеорными водами литосферы, так и с теми рассолами, расплавами и водными флюидами, которые содержатся в нижней части литосферы и в верхней мантии в сверхкритическом состоянии.

Таким образом, в формировании химического состава подземных вод участвует очень большое количество разнообразных факторов, влияющих на состав природного подземного раствора. Это обстоятельство, естественно, послужило причиной возникновения очень большого количества разнообразных гипотез, пытающихся объяснить процессы формирования химического состава подземных вод в разнообразных условиях их циркуляции. Даже краткое изложение всех этих гипотез заняло бы очень много места, и поэтому расскажем лишь о самых главных.

Выпадающие с дождем, снегом, росой (наземной и подземной) метеорные воды проникают в пористые толщи пород. Но еще до того как стать подземными водами, они уже обладают определенным минеральным составом. Прежде всего в растворе этих вод всегда содержатся атмосферные газы, такие, как азот, кислород, углекислота и др. Далее в атмосфере находится пыль, поднимающаяся с поверхности суши, и водяные брызги, уносимые током воздуха с площади Мирового океана, водоемов и водотоков суши. Эта пыль и соль растворяются в метеорных водах.

Работами автора в Енисейском секторе Арктики, вдали от Ледовитого океана, было установлено, что вода снега (без влияния промышленности) содержала в 1 л в среднем 93 мг минеральных веществ, кислорода, натрия и серы. Последние два элемента попали за счет поднимаемой сильными ветрами пыли с обнаженных от снега и растительности площадей столовых гор.

В приморских районах в минерализации атмосферных осадков преобладают натрий и хлор, содержащиеся в брызгах морской воды. Проникая через почвенный покров, атмосферные воды обычно обогащаются углекислотой, выделяемой органическим веществом, обильно насыщающим почву. Углекислота усиливает растворяющую способность воды. Разумеется, в зависимости от характера почв и покровных отложений химический состав этих близких к поверхности вод будет различен, но чаще это воды пресные, в которых преобладают гидрокарбонаты (HCO_3), но могут быть среди них и сульфатные (SO_4), и хлоридные

(С1) природные воды. Подобные воды носят название свободных грунтовых (см. рис. 29).

Их проникновение в водопроницающие породы (пески, известняки, песчаники и др.), залегающие между двумя водоупорными слоями в пределах крупных геологических структур, может давать при вскрытии скважинами напорные артезианские воды, поднимающиеся выше кровли водоносного горизонта. Напорные воды имеют область питания, область циркуляции и область разгрузки. При движении по породам напорные воды могут растворять и выщелачивать различные содержащиеся в них вещества. Выщелачивание — это частный случай растворения одних минералов породы и сохранения других.

При промывке подземными водами гипсовых отложений образуется вода сульфатного класса, при промывке пород, содержащих соль, — вода хлоридного класса. Аналогично обстоит дело и с катионным составом природных растворов натрия, калия, кальция, магния и др.

Установлено, что чем больше глубина вскрытия водоносных горизонтов, тем больше минерализация воды. Но если рассматривать подземные воды в широких регионах, планетарно, то строгой пропорциональности между этими двумя величинами нет. Зато с уверенностью можно утверждать, что на больших глубинах всегда распространены воды хлоридного класса. Вопрос о процессах формирования хлоридных рассольных вод, как натриевых, так и кальциевых, магниевых или калиевых, имеет многочисленные и разнообразные гипотетические объяснения.

Одни считают, что эти рассолы образовались в результате выжимания из осадочных пород содержащейся в них древней морской воды. Выпадение в водоеме осадков называется седиментацией, а выжимание по-латыни будет «элизио». Отсюда сама гипотеза происхождения этих вод называется «седиментационной», или «элизионной». Концентрация морской воды как в настоящее время, так и за последние 0,5 млрд. лет оставалась приблизительно на уровне около 35 г/л, и состав ее был хлоридно-натриевый.

Между тем вскрытые подземные воды имеют на глубине обычно рассольный состав, т. е. минерализацию более 50, а иногда даже около 800 г/л. Кроме того, в нижних горизонтах под хлоридно-натриевыми находятся хлоридно-кальциевые или магниевые воды, а морская вода никогда в своей массе не была ни кальциевой, ни магниевой. Тогда некоторые сторонники этой гипотезы для объяснения

подобной неувязки привлекают процесс катионного обмена между породой и водным раствором. Порода захватывает (адсорбирует) натрий и взамен отдает в раствор кальций или магний. Однако этот процесс может эффективно протекать лишь в зоне интенсивного водообмена, т. е. в самой верхней части литосферы с круговоротами воды. В глубинных же зонах при закрытости структур объяснять появления хлоридно-кальциевых или магниевых рассолов реакциями катионного обмена нельзя, так как здесь резко снижается коллоидность пород и обменные катионы переходят в необменное состояние.

Трудно также допустить, чтобы отжатые воды могли сохраняться в водовмещающих коллекторах сотни миллионов лет, тем более если еще учесть высокую подвижность всей толщи литосферы, рассеченной глубинными и другими разломами.

Некоторые ученые объясняют высокую минерализацию глубинных вод процессами подземного испарения. На отдельных участках, действительно, мы наблюдаем конденсаты сравнительно слабоминерализованных вод, образовавшихся за счет испарения воды крепких рассолов, но этот процесс захватывает очень ограниченные участки нашей планеты (аридные зоны, нефтяные залежи, районы вулканической деятельности и т. п.). На больших глубинах и на большей части площади Земли подземное испарение маловероятно.

Другие объясняют появление на глубине крепких рассолов гравитационной дифференциацией, т. е. расслоением водных растворов по величине ионной плотности растворенных веществ. Однако помимо некоторых допущенных ошибок в принятых значениях ионных плотностей, последние вообще не являются неизменными и зависят от ряда обстоятельств (температуры, давления, концентрации, соотношения ионов и др.). Кроме того, в природных условиях гравитационное перераспределение крайне затруднено сравнительной мелкопористостью среды с большим количеством «сит-мембран», затрудняющих свободную циркуляцию растворов по удельному весу. Другие силы, особенно на больших глубинах, действующие снизу вверх, неизмеримо эффективнее.

Наконец, упомянем о существовании гипотезы образования глубинных рассолов за счет погружения соляных залежей лагун, озер и почв в аридных условиях в платформенных впадинах и в предгорных прогибах и захоронения их последующими осадочными отложениями. В даль-

нейшем эти соляные залежи якобы выщелачивались проникшими с поверхности пресными водами суши или морскими водами и образовывали современные рассольные воды глубоких горизонтов. Но сравнение химического состава растворенных солей и химического состава глубинных хлоридно-кальциевых или хлоридно-магниевого рассолов противоречит такому предположению.

Не останавливаясь на ряде других гипотез, можно смело утверждать, что все они могут иметь локальное применение в ограниченных объемах литосферы, в ограниченное время, но что ни одна из этих гипотез не имеет глобального значения и ни одна из них не действует на всем протяжении геологического времени. Кроме того, с полной уверенностью можно утверждать, что фактическая возможность протекания процессов формирования подземных вод по всем этим гипотезам вероятна только в верхней части литосферы на средних глубинах примерно до 5 км.

Как только мы начнем рассматривать вопросы в геологическом аспекте времени и в планетарном масштабе пространства, в большем объеме нижней половины литосферы, так мы будем вынуждены признать, что выдвинутые в этих гипотезах факторы должны будут подчиниться энергетически неизмеримо более мощным силам, действующим из глубин нашей планеты — верхней мантии — на большую часть толщи литосферы. Об этих силах, направленных радиально вверх, мы уже достаточно говорили раньше. При этом не столько состав пород определяет состав воды, сколько последняя определяет состав пород.

Многочисленные влияния на формирование физических и химических особенностей подземных вод создают своеобразный калейдоскоп растворов, часто не подчиняющийся зональным схемам, предложенным гидрогеологами, и не имеющий всеобщего распространения, когда правила становятся исключениями, а последние правилами. К такой зональности принадлежит, например, схема чередования классов вод в толще литосферы, отвечающая распространению сверху вод гидрокарбонатного класса, ниже сменяемого сульфатным и еще ниже хлоридным. Встречаются мощные толщи громадной протяженности, в которых сульфатные воды отсутствуют полностью. В равной мере существуют не менее значительные пространства, когда сверху залегают хлоридные, ниже гидрокарбонатные, а еще ниже опять хлоридные воды, т. е. мы имеем химический калейдоскоп подземных вод, а не

их строгую закономерность. Только сплошное распространение на значительных глубинах хлоридных рассолов является устойчивой закономерностью, образующей подземную гидрохлоросферу.

В последнее время выдвигается гипотеза физической зональности, разделяющая подземные воды на твердые, жидкие и газообразные в вертикальном разрезе литосферы. В действительности это агрегатное чередование не подчиняется в вертикальном разрезе литосферы определенной закономерности. При высоких давлениях, как уже отмечалось, возможна модификация льда с температурой около $+70^{\circ}\text{C}$, разновидность пара может не отличаться от жидкости, а последняя от твердой фазы, например прочносвязанная вода со свойствами твердого тела и т. п.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Первое начало и сущность всего — вода. Нельзя дважды войти в одну и ту же реку, потому что тебя будут омыwać все новые и новые воды.

Фалес Милетский, 624—548 до н. э.

СРЕДИ планет земной группы самой обводненной является Земля, которая на большей части площади покрыта мощной толщей воды — Мировым океаном, и, вероятно, недра Марса.

Хотя человек — житель суши, но очень скоро он станет обитателем царства Посейдона. Дно Мирового океана таит в себе значительно больше богатств, чем суша, хотя бы только потому, что площадь его в 2,5 раза больше площади континентов.

Еще великий Александр Гумбольдт (1769—1859) — крупнейший немецкий натуралист и путешественник, основоположник физической географии писал: «На пространстве, представляющем гораздо менее разнообразия, чем на суше, мы находим в море такую пышную и богатую жизнь, о которой нам не может дать даже самого отдаленного понятия какая-либо часть суши».

Действительно, от морских гигантов 160-тонных китов до мельчайшего планктона, от самых крупных растений, достигающих в длину одной трети километра (макроцистис), до микроскопических бактерий — все эти бесчисленные представители фауны и флоры могут быть использованы для нужд человека.

Недалеко то время, когда не в порядке эксперимента, а в крупных планетарных и международных масштабах будет искусственно выращиваться на больших пространствах океана необходимая человеку фауна, как в настоящее время выращиваются стада домашних животных.

Несомненно, будут выращиваться на подводных плантациях различные морские растения. Уже сейчас частично дикорастущие морские растения используются и могут быть использованы в будущем в громадном количестве, например: морская капуста (ламинария), морской салат (ульва), красный салат (порфира), красная морская водоросль (анфельция и филлофора), морская трава (марипхуль), морские водоросли (фукусы), зеленая водоросль (хлорелла) и многие другие. Они очень полезны, питательны и легко восполнимы. За одни сутки вес хлореллы увеличивается в тысячу раз. Она содержит в четыре раза больше белка, чем пшеница, и столько же аскорбиновой кислоты (витамин С), сколько его содержит лимон. В некоторых водорослях содержание белка, по данным известного гидробиолога К. К. Дерюгина, достигает 50%, что в 14 раз больше, чем в пшенице; так, в 1 т с у х и х водорослей содержится 178 кг солей калия, 16 кг органического азота, 9,6 кг фосфатов и 3 кг йодистого калия. Калорийность диатомовых водорослей выше шоколада.

Морские растения, а их несколько тысяч различных видов, являются не только источником пищи домашних животных и человека, но и техническим сырьем для получения доброкачественной ткани, йода, альгинатов *, агар-агара **, крахмала, эфиров, нитроцеллюлозы, твердых спиртов, красителей тканей, фукоидина ***, ацетона, уксусной кислоты и многих других необходимых веществ.

Дно океана и особенно его недра представляют собой богатейшие кладовые нефти, газа, железа, марганца, алюминия, кобальта, меди, никеля, бокситов, угля, горючих сланцев, фосфоритов, редких элементов и многих других полезных ископаемых.

* Альгинаты — это студенистое клеящее вещество, применяемое в текстильной и металлообрабатывающей промышленности. Используется также при производстве изоляционных плит и для осветления вин.

** Агар-агар (малайск.) — растительный студень, который употребляется как вязущий материал при изготовлении конфет, желе, мармелада, маргарина, пастилы, мороженого, в фармацевтическом производстве, в виноделии, в типографском деле, в бактериологии как питательная среда для посева микроорганизмов.

*** Фукоидин используется для отделки кож.

Однако, пожалуй, одним из самых важных компонентов в Мировом океане являются содержащиеся в растворе морской воды дейтерий* и литий (последнего 0,2 мг в 1 л воды)**. Эти два элемента являются топливом в термоядерных реакторах, имеющих громадные преимущества перед атомной энергетикой, базирующейся главным образом на уране-235. К достоинствам термоядерных станций относится малый запас в них опасных радиоактивных материалов (в несколько миллионов раз меньше, чем в атомных станциях). В случае аварии реактор не разваливается, а просто гаснет, не представляя для окружающего никакой опасности радиоактивного заражения.

Не меньший интерес при постановке практических народнохозяйственных задач представляют глубинные флюиды, эндотегенные растворы, несущие из мантии, по существу, все вещества периодической системы элементов, но в первую очередь легкоплавкие и легколетучие.

Для изучения больших глубин и для подтверждения или опровержения целого ряда гипотез, в том числе и некоторых отраженных нами в этой книге, необходимо проникновение с помощью буровых скважин через всю толщу литосферы в верхнюю мантию. Так как наименьшая мощность литосферы на дне океана, американцы, являющиеся авторами первого проекта изучения верхней мантии, названного ими «Мохол»***, приняли решение проводить бурение не с суши, а с моря.

В СССР также разрабатывается программа бурения на мантию, но с суши. Однако, хотя прошло уже 13 лет с начала разработки проекта бурения на мантию и 10 лет с момента проходки первой пробной скважины, ни в США, ни в СССР ни одна скважина мантию не вскрыла ни на морском дне, ни на суше.

Между тем, даже если подходить к этому вопросу с чисто утилитарной точки зрения, вскрытие мантии и ее изучение сулит громадные народнохозяйственные выгоды, так как даст возможность управления процессами

* Пары воды над океаном обеднены дейтерием, в то время как в поверхностных слоях благодаря испарению легкой воды его содержится больше. На экваторе обогащенность поверхностных вод океана дейтерием выше, чем в высоких широтах, вследствие более интенсивного испарения.

** По Эдварду Д. Гольдбергу (1961).

*** «Мохол» — Мо — первый слог названия поверхности Мохоровичича, хоул — скважина.

рудообразования и добычи почти всех элементов таблицы периодической системы.

Только вскрытие и изучение больших глубин Земли поможет раскрытию тайны глубинных вод нижней литосферы — верхней мантии.

Тема данной книги затрагивает одну из самых насущных потребностей человечества.

По прогнозам зарубежных демографов и социологов, к 2100 г., т. е. всего лишь через 2—3 поколения, численность человечества может достигнуть 20 млрд. человек. Разумеется, такое увеличение населения возможно лишь при действительной реализации прогнозов некоторых ультраоптимистически настроенных ученых. Уже сейчас человечество переживает всем хорошо известный кризис в потреблении пресной воды даже на площадях, еще совсем недавно вполне благополучных в этом отношении. Это объясняется не только ростом численности населения, но и еще более значительным ростом потребления воды на душу населения, включая сюда и все потребности различных отраслей промышленности и сельского хозяйства. Насколько велико значение воды, становится ясно из высказывания Чарльза Бера-младшего в Американском географическом обществе в 1959 г.: «Нынешние неистовые поиски воды, этого необходимейшего ресурса, затмили и золотую лихорадку, и нефтяную истерию, и урановый бум. И как это ни парадоксально, но это дело оказывается неотложным не для пустынных районов, а для густонаселенных, высокоиндустриальных и высокоразвитых земледельческих областей, где непрерывно возрастает спрос на воду, поскольку ее становится все меньше. Водная проблема выходит из рамок отдельных стран, приобретая международный характер».

Кроме того, с ростом населения, а особенно с ростом промышленности увеличивается загрязнение естественных запасов пресных вод. Хотя борьба с загрязнением вод ведется во всех странах, но трудно допустить, чтобы эта борьба реально оказалась вполне эффективной.

В настоящее время энергичные усилия мировой науки и техники направлены на получение пресной воды из практически неисчерпаемых запасов минерализованных и рассольных поверхностных и подземных вод путем их искусственного опреснения различными способами. Упомянем только некоторые. Опреснение воды может производиться методом испарения, вымораживания, экстракции, биологическим, электроионитовым способами, посредством ион-

ного обмена, ионоактивными смолами, путем разрушения структуры водного раствора и еще целым рядом методов, которые оцениваются только с двух позиций: с точки зрения экономической рентабельности и степени достаточной пресности.

Но есть и еще один, с нашей точки зрения, самый важный аспект оценки питьевой воды — ее жизненная приемлемость. Питьевая вода — это не соединение химически чистого протия с химически чистым O^{16} . Доброкачественную питьевую воду так же трудно приготовить искусственно, как изготовить живую протоплазму. Строение природной питьевой доброкачественной воды нам неизвестно, но нам хорошо известно, что она крайне сложна. Как отмечал В. И. Вернадский, природная вода резко отлична от воды, получаемой искусственно, в лабораториях.

Всякая природная вода, если не ядовита, то лечебна. Между тем многочисленные попытки приготовления лечебных минеральных вод неизменно кончались неудачами. Минералог член-корр. АН СССР Н. М. Федоровский, хорошо понимая, что минеральные воды содержат неизвестные «иксы», назвал их условно — м и н е р а л а м и н а м и. Он допускает, что, может быть, этот «икс» — вещество, а может быть, особая структура, строение молекул, изотопов или еще чего-то нам неизвестного.

Заслуженный деятель науки известный курортолог В. А. Александров неоднократно подчеркивал неравноценность природной и искусственной минеральной воды и отмечал, что одна и та же вода может излечивать разные болезни и одна и та же болезнь может излечиваться разными водами. Существуют в природных водах свойства, нам неизвестные, они-то и являются главными биологически активными и специфическими.

Очень пресные воды вредны, ибо вызывают выщелачивание кальция из организма, особенно детского. Впрочем, дети это осознали задолго до того, как это поняли взрослые. Маленькие дети отколупывали от стен штукатурку и ели ее, за что им неизменно несправедливо попадало от взрослых.

Подытоживая сказанное, мы должны будем признать, что вода есть не только на нашей планете, но и на других небесных телах: на планетах земной группы, на планетах-гигантах типа Юпитера, а также на кометах, астероидах, метеоритах, в космической пыли. Все они в той или иной степени содержат различные соединения водорода

с кислородом. Более того, даже в межзвездном галактическом пространстве в настоящее время обнаружен не только гидроксил (ОН), но и молекулы H_2O .

Есть основания предполагать, что значение воды во Вселенной с расширением наших знаний будет все более и более возрастать. Однако имеющиеся в настоящее время научные факты пока заставляют признать нашу планету Землю по обводненности исключительной планетой.

Автору совершенно очевидно, что данная книга только скользнула по поверхности темы «Вода во Вселенной». Для более всестороннего и углубленного отражения этой темы потребовалась бы многотомная энциклопедия о природных водах. Рано или поздно такая энциклопедия появится. Этого требует сама жизнь и то первостепенное значение, которое имеет для нее вода, и тот интерес, который, естественно, проявляется к воде человеком.

При написании этой книги автор преследовал ряд задач, первой из которых являлось — обратить внимание на самое главное, самое важное, самое распространенное, самое таинственное и мало изученное вещество — природную воду и показать при этом ее с различных точек зрения.

Если читатель заметил, автор не отрицает ни одной современной точки зрения на круговороты воды и ее формирование, а также предельно широко трактует вопрос о ее происхождении.

Однако, несмотря на научно-популярный характер книги, автор позволил включить в нее и новые взгляды, только еще завоевывающие признание, про которые можно сказать словами акад В. Л. Гинзбурга (1968): «В муках рождались новые взгляды, осознавалась неизбежность отказа от столь «уютных» и «понятных» старых воззрений... Отсюда попытки отрицать новые идеи... тем, кто считает себя овладевшим, наконец, философским камнем».

Современное человечество стоит на пороге эпохи крупнейших космогонических обобщений, и хотя контуры этого нового представления о мироздании еще туманны, одно ясно — вода, являющаяся связующим звеном между миром мертвого и миром живого, будет в этой космогонии занимать так же первое место, как она занимала его и во всех прошлых космогониях.

ЛИТЕРАТУРА

ОБЩАЯ

- Гавриленко Е. С., Дерпгольц В. Ф. Глубинная гидросфера Земли. Изд-во АН УССР, 1971.
- Гинзбург В. Л. Как устроена Вселенная и как она развивается во времени. Знание, 1968.
- Девис К., Дэй Дж. Вода — зеркало науки. Гидрометеониздат, 1964.
- Дерпгольц В. Ф. Древнее сооружение Тувы — конденсатор паров наземной атмосферы. Природа, № 8, 1964.
- Дерюгин К. К. Человек покоряет глубины океана. Наука, 1965.
- Копал З. Луна — наш ближайший небесный сосед. ИЛ, 1963.
- Кромм У. Проект «Мохоп». Мир, 1967.
- Кульский Л. А. Серебряная вода. Наукова думка, 1968.
- Макаренко Ф. А. Вода под Землей. В сб. Круговорот воды. Знание, 1966.
- Мур П. Планета Венера. ИЛ, 1961.
- Наливкин Д. В. Ураганы, бури и смерчи. Наука, 1970.
- Оринг Дж. Погода на планетах. Гидрометеониздат, 1968.
- Рай Х. В глубинах Тихого океана. ИЛ, 1961.
- Сиборг Г. Т., Валенс Э. Г. Элементы Вселенной. Наука, 1966.
- Тазнев Г. Когда Земля дрожит. Мир, 1968.
- Федосеев И. Л. Развитие знаний о происхождении, количестве и круговороте воды на Земле. Наука, 1967.
- Фирсов В. Жизнь вне Земли. Мир, 1966.
- Фюрон Р. Проблема воды на земном шаре. Гидрометеониздат, 1966.

- Алпатыев А. М. Влагообороты в природе и их преобразования. Гидрометеоздат, 1969.
- Вернадский В. И. Избранные соч., т. 4, кн. 2. Изд-во АН СССР, 1966.
- Виноградов А. П. Введение в геохимию океана. Наука, 1967.
- Дахнов В. Н. К познанию недр Земли. Недра, 1968.
- Дерпгольц В. Ф. О водообмене между Землей и Мировым пространством. Географ. сб. Изд-во АН СССР, 1962.
- Дерпгольц В. Ф. Гидросфера и хлор. Литология и полезн. ископ., № 1, 1963а.
- Дерпгольц В. Ф. Принципы укрупненной естественной классификации природных вод Земли. Сов. геология, № 5, 1963б.
- Дерпгольц В. Ф. Минеральные воды Ленинградской, Псковской и Новгородской областей. Тр. ВНИИГ, вып. 11, 1964.
- Дерпгольц В. Ф. К геохимической характеристике метеорных вод Енисейского сектора Арктики. Докл. АН СССР, т. 178, № 3, 1968.
- Дерпгольц В. Ф. Геотермические особенности пород на одном из участков Енисейского сектора Арктики. Докл. АН СССР, т. 179, № 5, 1968.
- Дерпгольц В. Ф. Планетарная геохимическая стратификация гидрохлоросферы. В сб. VI совещ. по проблемам планетологии. Изд-во АН СССР, 1968.
- Каттерфельд Г. Н. Лик Земли. Географгиз, 1962.
- Качурин С. П. и др. Общее мерзлотоведение. Изд-во АН СССР, 1940.
- Коржинский Д. С. Теория метасоматической зональности. Наука, 1969.
- Кротова В. А. Фактор времени в формировании химического состава подземных вод. Геохим. сб., № 6. Тр. ВНИГРИ, вып. 155, 1960.
- Кротова В. А. Гидрогеологические факторы формирования нефтяных месторождений (гл. XI. Вопросы формирования химического состава подземных вод, стр. 256—297). Тр. ВНИГРИ, вып. 191, 1962.
- Личков Б. Л. Формирование подземных вод и единство природных вод. Тр. Лабор. гидрогеол. проблем АН СССР, т. 16, 1968.
- Личков Б. Л. К основам современной теории Земли. Изд. ЛГУ, 1965.
- Личков Б. Л. Природные воды Земли и литосфера. Изд-во АН СССР, 1960.
- Марков К. К. Палеогеография. Изд. МГУ, 1960.
- Посохов Е. В. Формирование химического состава подземных вод. Изд. 2. Гидрометеоздат, 1969.

УКАЗАТЕЛЬ ПОНЯТИЙ И ТЕРМИНОВ

- Автоматические межпланетные станции (АМС) 46, 66, 68, 182
 Айсберги 123
 Альbedo 52, 58, 65
 Антиподы 101
 Антициклоны 98
 Астеносфера 82
 Астероиды 34, 36, 47, 53, 55, 195, 215
 Астрономическая единица (а. е.) 34
 Атмосферы планет 59—61, 63, 66—70, 72, 77, 181, 188—190, 195—198
 Атом, размеры 15
 Афелий 57, 58
 Базальтовые породы 78, 81, 82, 84, 85, 138, 154
 Балансовые уравнения стоков 205
 Баричесентр 179
 Биосфера 77, 174
 Болиды 38
 Брокенский призрак 99
 Вакуум 85
 Вихри 97, 98
 Вода, аномалии 19—21
 — аномальная (модифицированная) 22, 23
 — активность 16
 Вода, баланс 93, 115, 204, 205
 — биологическая активность 24
 — возбужденные молекулы 50, 51
 — внеземная 48
 — возможные температуры 27
 — вязкость 22, 23
 — гравитационная 27, 127, 146, 150
 — давление 24
 — дистиллированная 26
 — заряженная молекула 17
 — значение в живых организмах 10, 11, 171—178
 — изотопические разности 13, 14
 — испарение 25, 89, 92, 93, 100, 114, 115
 — капиллярная 22, 127
 — классификация 26—29, 147, 172
 — количество 142—146
 — конденсационная 91, 92, 98, 100
 — координационное число 21
 — критическое состояние 127
 — круговороты 93, 148, 200—204
 — «культурные» 173
 — магнитная 23, 24, 162
 — межмерзлотные 124
 — метеоритная 39, 48

- Вода, метеорная 87, 143, 205, 206
 — на Луне 181, 186
 — память (закалка) 23, 24, 178
 — паробразная 87
 — плотность 20—22, 25
 — подмерзлотные 124
 — потребность промышленности 204
 — разложение 26, 86
 — разновидности 17, 18
 — распространенность 11, 12
 — расстояния между молекулами 21
 — растворение 23, 27, 127, 136, 147, 150, 151, 162, 173, 207
 — расширение 21 137
 — свежеталая 24, 178
 — «сверхвода» 23
 — свободная 127, 146
 — связанная 25, 27, 28, 50, 63, 127, 131, 135, 138, 143, 144, 146, 154, 184
 — «серебрянная» 177, 178
 — сжимаемость 104
 — синтез 141
 — скрытая теплота 19
 — «солнечная» 32
 — структура 18, 21
 — температура замерзания и кипения 20, 23, 25
 — теплоемкость 19
 — теплота гидратации 23
 — фильтрация 23, 133, 155
 — флюация 133
 — химически чистая 127
 — циркуляция 61
 — электропроводность 25
 — эмульсия 23
 — энергия 100
 — «ювенильная» 140, 171
 — ядерный спин 24
 Воздух 86, 87
 Волны, внутренние 105, 106
 — сжатия 111
 Вольфа, числа 157, 158, 159
 Вращение планет 35, 57, 58, 65
 Вселенная, определение 30
 Вспучина 110
 Вулканическая деятельность 61, 69, 71, 110 164
 Вулканы 80, 104, 116, 164, 165, 166, 200
 — грязевые 167
 Выщелачивание 207
 Гейзер 166
 Гейзер, лунный 186
 Гало, или галосы 98
 Геоид 73, 74, 85
 Геосферы 29, 74, 75, 135
 Геофизика 78, 84
 Гермесогидрология 7
 Гидратация 131, 136
 Гидратированный электрон 50
 Гидроксил 16, 17, 50, 52, 60, 96, 156, 193, 216
 Гидроксил-моногидрат 17, 51
 Гидрооксоний 16, 17, 50
 Гидросфера 55, 74, 77, 80, 101, 135, 141, 145, 150—152, 154, 157, 174
 Гидрохлоросфера 29, 74, 153, 154, 210
 Гипоцентр 78
 Гномон 44
 Голицына, слой 76, 79
 Гравитационное равновесие 81
 Градиент 129, 163
 Гранитизация 17
 Гранитные породы 78, 79, 81, 82, 84, 85, 154
 Давления на планетах 61, 69, 76, 79, 84, 129, 137
 Дегазация 60, 61, 137, 181
 Дегидратация 131
 Дефлюидизация 71, 137
 Дипольный момент 15
 Диссинация 96
 Диссоциация 16, 71
 Дифференциация вещества 129, 153
 Диффузия 129, 133
 Диэлектрическая проницаемость (постоянная) 16, 68
 Живые клетки при замерзании 7
 Жизнь на Венере 72
 Землетрясения 78, 104, 110, 164, 167—169
 Земля, состав 55, 56
 Зодиакальный свет 47
 Зональность гидрохимическая, вертикальная 153
 Зонная плавка 130
 Зоны пространства 36
 Изотопы 18
 Интермеркуриальная планета 63

- Ионизация 51, 95, 96
 Ионная связь 16
 Ионосфера 17
- Калейдоскоп, ионно-атомно-молекулярный** 51
 Карст 132, 134
 Катионный обмен 208
 Квант световой (фотон) 51
 Кимберлитовые трубки 165
 Кларки 150
 Кольца Сатурна 34, 198
 Кометы 34, 36, 47, 53, 54, 141, 156, 215
 Конрада граница 78, 79, 146, 147, 154
 Корпускулярная радиация 31, 44, 62, 95, 140, 156
 Космические лучи 30, 158, 162
 Космогонии 11, 216
 Котлы гигантов 112
- Лавины 121, 125
 Лед, донный 104
 — количество 105, 145, 158
 — космический 52, 53, 156
 — прозрачности 24
 — растворение 173
 — толщина 105
 Либрация 180
 Литосфера 74, 76—82, 84, 127, 128, 136, 139, 144, 145, 147, 150—152, 155, 160, 170, 205, 213
- Мантия 79—82, 104, 136, 142, 166, 172, 176, 213
 Масконы 181
 Межзвездное пространство 39, 55
 Межпланетное пространство 55, 75, 85, 86
 Мезопауза 88, 95
 Мезосфера 75, 95
 Мерзлота, многолетняя («вечная») 92, 116, 123, 173, 194
 Метаморфизованные породы 85
 Метаболизм 173
 Метасоматоз 136
 Метеориты 34, 38, 39, 47, 48, 49, 55, 56, 95, 135, 140, 141, 142, 155, 156, 215
 — кратеры 39, 48
 — ледяные 49, 53
 — потоки 48, 53
 — пыль 38, 39, 47, 95, 141
- Метеориты, рои 48
 «Меха дьявола» 113
 «Минераламины» 215
 Минералообразование 136
 Млечный путь 47
 Моретрясения 110, 111, 164
 «Мохол», проект 213
 Мохоровичича, поверхность 76—79, 81, 128, 138, 143, 144, 146, 154
- Наводнения 109
 Наледи 123, 124
- Облака 88, 89
 — перистые 88
 — перламутровые 53, 88
 — пылевые 48
 Обращение планет 35, 57, 58, 65
 Обсерватории, орбитальные 45
 Огненный пояс 103, 104, 110
 Озера 101, 115—119, 143, 145, 149, 150, 152
 Океан Мировой 101, 102, 104, 105, 117, 138, 139, 140, 145, 149, 206, 211, 213
 Орбиты 53, 54
 Осадки, атмосферные 88—90, 93
 Осадочные породы 78, 79, 81, 84, 85, 132
 Отливы 107, 114, 123, 157
 Очаг, вулканический 80, 166
- «Падающие звезды» 48, 53
 Параболическая скорость 35, 59, 195
 Перекись водорода 17, 51
 Перигелий 57, 58, 59
 Перигидроксил 17, 51, 52, 156
 Плазма 31, 32, 50, 84
 Планетная система 34, 41
 Планеты, групповые характеристики 33, 34, 35, 37
 Планктон 178, 211
 Пластическая зона 82
 Плутон 126
 Потенциал 163
 Прапланета Земля 142
 Продольные волны, скорость 76
 Почта, бутылочная 107
 Прибой, морской 112
 Приливные мельницы 114
 Приливы 107, 108, 114, 123, 157, 159, 160
 Противотечения 107
 Пруды росы, «небесные» 90

- Пурга 124
Пыль, космическая 34, 49, 55,
95, 96, 215
— лунная 181, 182
Пыльные бури 97
Пятры 105
- Радияция, коротковолновая 51
Радикал 17, 50, 52, 96
Радиоактивные элементы 60, 61
Радиоволны 43, 96
Радиоогенное тепло 136
Радиопросвечивание 66
Радиотелескопы 45, 57
Разломы, глубинные 103, 119,
128
Расплавы 128, 131, 137, 206
Рассолы 23, 25, 115—120, 129,
131, 136, 137, 147, 154, 155,
165, 173, 206, 209, 210
Рекомбинация 17, 51, 66
Рефлекторы 44, 45
Рефракторы 44, 45
Роса 91, 92
Ротационное тепло 136, 170
- Сверхкритические состояния 61,
127
Свет, скорость прохождения 41,
44
Седиментационная гипотеза 207
Сейсмические волны 78, 79
Сейши 109
Серебристые облака 32, 53, 88,
95
Серпентинизация 138
Сидерический период 58
Силь, или сель 122, 125
Скважина, буровая 77, 125, 173,
150, 161, 165, 169
Смерч 97
Снег 120
Солнце, активность 63, 156
— «ветер» 31, 50, 62, 95, 140
— «дождь» 32
— корона 30, 47
— круги 98
— ложное 98
— общая характеристика 30—
34, 47, 55, 56
— пятна 33
— радиация 63, 86, 95, 139
— фотосфера 30, 70
— хромосфера 30
Соль 118
Соляной кунол 117
- Сток, метеорный 94, 205
— поверхностный 92, 93, 113,
134, 205
— подземный 134, 135, 205
Стратопауза 88, 95
Стратосфера 75, 88, 94
Сублимация 52, 89
Субъядро 76, 79, 80
- Тайфун, или тифон 97
Талики 192
Телескопы 44, 45, 46
Температура, определение 40
Терминатор 59, 60, 68, 190
Термоионосфера 88, 95, 96
Течения, океанические 106, 107
Транспирация 205
Тритий, полураспад 17
Тропопауза 88, 94
Тропосфера 75, 87, 88, 94, 96, 98
Туманоуловители 90
- Ураганы 97
Ускорение силы тяжести 35,
76, 80
- Флюид 128, 131, 134, 137—139,
152, 154, 164, 206, 213
Фотодиссоциация 32, 66, 156
Фотон 51
Фотосинтез 86, 139
Фиорды 112
- Хвост Земли 96
Хевисайда, слой 88, 96
Хребты, среднеокеанические 103
- Циклоны 98, 157, 158
Цунами 109—111
- Шапки, венерианские 68
— марсианские 189
- Экзогенные процессы 163
Экзосфера 96
Экситон 51
Электрические потенциалы 25,
26
Электролиты 24
Электромагнитный спектр 42, 43
Элизионная гипотеза 207
Эллипсоид, земной 73, 74, 101
Эндогенные процессы 134, 155
Энергетика, водная 114
Энергия кванта 66
Эндотегенные процессы 134, 139,
155, 163, 164, 170, 172
Эпицентр 78, 104, 111, 168, 169
- Ядерный котел 31
Ядро Земли 79, 80, 84

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
От редактора	4
От автора	7
Введение	10
I. Что такое природная вода?	13
II. Что такое Вселенная?	30
III. О способах познания небесных тел	42
IV. Вода в межпланетном пространстве, в кометах, астероидах и метеоритах	47
V. Обводненность планет	55
«Горячая» планета — Меркурий	57
«Жемчужная планета загадок» — Венера	64
Наш дом — «голубая» планета Земля	73
Наша небесная соседка — Луна	179
«Планета войны» — Марс	187
Планеты-гиганты	195
VI. Водный мировой калейдоскоп	199
Заключение	211
Литература	217
Указатель понятий и терминов	219

ВЛАДИМИР ФЕДОРОВИЧ ДЕРПГОЛЬЦ

ВОДА ВО ВСЕЛЕННОЙ

В КОСМОСЕ, НА МАЛЫХ ТЕЛАХ
СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ, В АТМО-
СФЕРАХ, НА ПОВЕРХНОСТИ
И В НЕДРАХ ПЛАНЕТ

Научные редакторы В. А. Кротова и Д. О. Мохнач
Ведущий редактор Э. М. Бородянская
Технический редактор А. Б. Ящуржинская
Корректоры В. Н. Михалевич, Н. А. Соколова
Переплет и иллюстрации художника Ю. И. Прошлецова

М-26647. Сдано в набор 16/VII 1971 г.
Подписано к печати 24/XI 1971 г. Формат бумаги 84×108¹/₃₂.
Печ. л. 7. Усл. л. 11,76. Уч.-изд. л. 12,37. Изд. № 116.
Тираж 27 500 экз. Бумага № 1. Заказ № 612.
Индекс 1—5—0—Л.

Издательство «Недра», Ленинградское отделение. 193171,
Ленинград, С-174, ул. Фарфоровская, 12.

Ленинградская типография № 14 «Красный Печатник»
Главполиграфпрома Комитета по печати
при Совете Министров СССР.
Московский проспект, 91.

Цена 54 коп.

54 коп.

161

НЕДРА