


Академия наук СССР

Институт истории  
естествознания и техники

---

И. А. ФЕДОСЕЕВ

История изучения  
основных проблем  
гидросферы

Дорогому Валерию  
Васильевичу  
Сингакову, приглашающему  
к разгадке тайн  
суда прифодот.  
 И. Федосеев

---

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА

1975

Федосеев И. А. **История изучения основных проблем гидросферы.**  
М., «Наука», 1975 г.

В работе дается обстоятельный очерк истории представлений о воде как веществе и ее значении в природных процессах.

Рассмотрено развитие знаний по основным относящимся к ней проблемам: 1) проблеме выяснения гидрографии Земли и определения масс воды в различных частях гидросферы; 2) проблеме выяснения генезиса воды, образования гидросферы и изменений баланса воды в ходе геологического времени; 3) проблеме формирования представлений о круговороте воды на земном шаре.

Рассматривая историю изучения гидросферы в глобальном плане, автор отдельно останавливается на изучении гидрографии и водных ресурсов СССР.

Табл. 30, рис. 32. Библ. назв. 312.

Ответственный редактор  
профессор  
А. И СОЛОВЬЕВ

*Иван Андреевич Федосеев*

### **История изучения основных проблем гидросферы**

*Утверждено к печати Институтом истории естествознания и техники АН СССР*

Редактор издательства *О. М. Ванюкова*

Художник *Б. И. Астафьев*. Художественный редактор *С. А. Литвак*

Технические редакторы *Л. Н. Зологухина, О. М. Гуськова*. Корректор *Л. Ю. Розенберг*

Сдано в набор 25/VII 1975 г. Подписано к печати 10/X 1975 г. Формат 70×108<sup>1/16</sup>.

Усл. печ. л. 18,2. Уч.-изд. л. 18,8. Тираж 900. Т-14968. Тип. зак. 2682.

Бумага типографская № 2. Цена 1 р. 88 к.

Издательство «Наука». 103717 ГСП, Москва, К-62, Подсосенский пер., 21

2-я типография издательства «Наука». 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

## ВВЕДЕНИЕ

Многим потребностям общества служит вода, и было бы трудно перечислить все области человеческой деятельности и все процессы производства, связанные с ней. Очевидно, что водопотребление в мире будет возрастать во все ускоряющемся темпе. По данным ООН, в настоящее время прирост населения мира составляет 2% в год. Если такой прирост сохранится в последующие десятилетия, то к началу третьего тысячелетия население Земли удвоится и составит около 7,5 млрд. человек. Еще более высоким темпом растет промышленное производство, также требующее все возрастающих количеств пресной воды, участвующей в технологических процессах. Быстро увеличивается потребление воды в народном хозяйстве СССР. За последние 20 лет оно утроилось и составляет в настоящее время 335 км<sup>3</sup> в год. По прогнозу Института водных проблем АН СССР, в ближайшей перспективе потребление воды в нашей стране возрастет до 430—470 км<sup>3</sup>, а в более отдаленном времени — до 700—800 км<sup>3</sup> в год, т. е. приблизится к 20% годового объема речного стока с территории СССР.

Уже в настоящее время недостаток пресной воды становится ощутимым на большой части территории земного шара. Проблема изучения и рационального использования водных ресурсов приобретает все большую актуальность, причем специалисты, имеющие прямое или косвенное отношение к ней, нередко проблему воды в ряду других проблем, возникших перед человечеством, ставят, если не на первое, то на одно из первых мест по неотложности мер, которые должны быть предприняты для предотвращения возможных серьезных затруднений в удовлетворении потребностей общества в пресной воде. Но ясно, что проектируемые мероприятия должны базироваться на научных достижениях в изучении гидросферы, на обоснованных данных о водных ресурсах нашей планеты, на знании охватывающего весь земной шар грандиозного и сложного природного процесса — круговорота воды, взаимосвязи его звеньев, его механизма.

В результате многовекового изучения природных вод широким кругом наук, прежде всего такими, как физическая география, океанография, гидрология, климатология, гидрогеология, геофизика, геохимия, физика и химия, составились определенные представления о количестве и состоянии воды в различных водовместилищах, о ее круговороте, происхождении и балансе на отдельных территориях и акваториях и на земном шаре в целом, о структуре и физико-химических свойствах воды. Но как ни значительны достигнутые результаты, многие вопросы проблемы воды требуют своего более глубокого изучения. Так, продолжает оставаться дискуссионным вопрос о генезисе воды на Земле, о процессе ее накопления и балансе в ходе геологического времени, имеются расхождения в оценках массы пресных вод, находящихся в литосфере, недостаточно выяснены и потому разноречивы данные о всех трех компонентах, количественно выделяющих глобальный круговорот воды, — испарении, осадках, стоке.

Проблема воды не только приобрела большую остроту, но и стала проблемой международного значения. Само единство вод земного шара вызывает необходимость международного сотрудничества в их изучении и рациональном использовании. Показателем осознания этой необходимости является проведение в 1965—1974 гг. Международного гидрологического

десятилетия по широкой программе исследований и с участием в этом коллективном мероприятии большинства стран мира.

Многие факты свидетельствуют о большом внимании к воде в последнее время, в том числе и публикация посвященных ей многочисленных работ. Могут быть названы и работы, касающиеся истории развития представлений о гидросфере, но их мало и они, как правило, кратки и схематичны или освещают развитие знаний лишь по отдельным вопросам, а не по проблеме воды в целом. Весомым вкладом в научную литературу по истории знаний о водной оболочке Земли являются работы и многих советских ученых. Но можно определенно сказать, что со времени издания капитального труда В. И. Вернадского «История природных вод» (1933—1936 гг.), в котором, хотя и в сжатой форме, показано развитие взглядов по всему кругу проблем гидросферы, ни у нас, ни в других странах подобных работ не появлялось. В настоящей работе автор должен был ограничиться освещением истории представлений лишь по основным проблемам гидросферы, касаясь исследований в ряде областей только в той мере, в какой это было необходимо. Этими основными и взаимосвязанными проблемами являются: гидрография Земли и количества воды в различных водовместилищах; генезис воды и образование гидросферы; круговорот воды на Земле. История изучения этих проблем изложена в главах II, III и IV.

В работе приводятся сведения из истории познания состава, структуры и свойств воды, т. е. самого субстрата гидросферы, изложенные в главе I.

Методологической основой структуры работы является концепция единства всех вод гидросферы. Это единство определяется тем, что воды всех частей гидросферы 1) вещественно, т. е. по молекулярному составу, одинаковы, лишь незначительно различаясь по изотопному составу, 2) образуют единую водную оболочку земного шара, хотя и с весьма неравномерным распределением массы воды в ее частях, 3) происходят из единого источника — магмы земных недр и, накопец, 4) находятся в непрерывных многочисленных круговоротах, физических и химических взаимодействиях со средой. Таким образом, основные проблемы, история изучения которых рассматривается в работе, соответствуют основным чертам гидросферы, характеризующим единство ее вод.

По сколькою воды гидросферы находятся в тесном взаимодействии с породами литосферы, они во всех частях гидросферы представляют собой природные растворы различной степени концентрации. Из этого обстоятельства возникла весьма важная проблема изучения химического состава природных вод, являющаяся предметом гидрохимии. История этой «стыковой» проблемы получила в работе лишь только краткое освещение. В работе вовсе не затрагивается история изучения сторон гидросферы как области распространения (в известных пределах) живого вещества, как среды жизни.

Что касается истории использования природных вод в связи с развитием общества, проблемы воды в настоящем и будущем, то автор не ставил своей задачей рассмотреть эту большую и важную тему и мог лишь кратко касаться ее в ходе освещения истории изучения рассматриваемых проблем.

По поводу самого понятия гидросферы надо сказать, что общепринятого определения того, что такое гидросфера и каковы ее нижняя и верхняя границы, в настоящее время нет. Наряду с узким определением гидросферы как Мирового океана имеются определения, по которым в понятие гидросферы включаются воды на поверхности планеты, в ее атмосфере и недрах, в том числе и связанные в минералах. Ввиду этих расхождений в определении понятия гидросферы мы сочли целесообразным изложить точки зрения по этому вопросу после освещения истории изучения отдельных частей гидросферы.



## ВОДА КАК ВАЖНЕЙШЕЕ ПРИРОДНОЕ ВЕЩЕСТВО

### ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О ВОДЕ КАК ОБ ОДНОМ ИЗ ОСНОВНЫХ НАЧАЛ ПРИРОДЫ

Воде принадлежит исключительно важная роль во всех процессах, протекающих в живой и неживой природе на нашей планете. Выдающийся ученый В. И. Вернадский (1863—1945 гг.) писал, что ни одно природное тело не может сравниться с водой по влиянию на ход основных, самых грандиозных процессов на земной поверхности.

Вопрос о том, что такое вода, какова ее роль в мироздании, всегда, начиная с глубокой древности, возбуждал ум и воображение человека. Еще древние шумерийцы и аккадцы, а также китайцы, индийцы и египтяне поклонялись воде как первородной стихии. В глазах древних ничто не могло сравниться с силой воды, способной преодолеть даже огонь. И естественно, что человек, как только он начал пытаться понять явления окружающей его природы, отдал предпочтение воде как началу всего существующего.

Но если названные народы поклонялись воде как всемогущему боже-ству, то у греков уже появляется натурфилософский взгляд на воду. Фалес Милетский (624—543 гг. до н. э.) признавал ее основной стихией, из которой происходит все многообразие природы, поскольку, по его мнению, вода обладает свойствами, ставящими ее между землей и воздухом. По Фалесу, «все вещи возникли из первичной воды и возвращаются в нее опять; все твердое осаждается из воды» (см. Вальден, 1921, стр. 3). Стихии, полагал Фалес, превращаются друг в друга благодаря разрежению и сгущению, зависящим от тепла и холода, причем взаимопревращение стихий происходит в таком порядке: огонь ↔ воздух ↔ вода ↔ земля. Воздух, например, не может превратиться в землю, он должен сначала пройти через состояние воды<sup>1</sup>.

Фалес отметил необычность физических свойств воды, утверждая, что она является единственным веществом в природе, встречающимся в трех состояниях — твердом, жидком и газообразном.

Анаксимен (V в. до н. э.), представитель той же милетской школы, признавал первовеществом вездесущий и вечнодвижущийся воздух, из которого благодаря сгущению и разрежению происходят все предметы. В зависимости от степени сгущения воздух превращается в облако, затем в воду, землю, камни; разреженный воздух становится огнем.

Философ последующего столетия, Эмпедокл из Акраганта на Сицилии (приблизительно 490—430 гг. до н. э.), считал «корнями всего» четыре

<sup>1</sup> О глубоком философском смысле представления Фалеса о воде А. И. Герцен (1812—1870 гг.) писал в «Письмах об изучении природы» в 1844 г., что Фалес, «признавая началом всего воду, видел в ней больше, чем эту воду, текущую в ручьях» (Герцен, 1946, стр. 93). И далее он в следующих выражениях подчеркивал мысль о значении воды как эмпирического образа абстрактных понятий в философии Фалеса: «Вода Фалеса — существующая стихия и вместе с тем мысль — представляет первое мерцание и просвечивание идеи сквозь грубую физическую кору, от которой она еще не освободилась... Вода — спокойная, глубокая среда, вечно деятельная раздвоением (сгущаясь, испаряясь), вернейший образ понятия, расторгающегося на противоположные определения и служащего связью им...»

качественно неизменных элемента — огонь, воздух, воду и землю, находящиеся в природе в равных количествах и состоящих из мельчайших частиц. Элементы, или стихии, Эмпедокла не обладают свойством взаимопревращения, но, смешиваясь в различных отношениях, создают все разнообразие видимого мира (Маковельский, 1915). Полагают, что Эмпедокл первым предположил, что водяной пар (разреженный туман) и атмосферный воздух представляют собой различные субстанции, и, следовательно, отрицал возможность сжижения воздуха в воду, т. е. высказал взгляд, бесснорность которого выяснилась лишь более чем два тысячелетия спустя (там же, стр. 114).

Стройное учение о четырех основных стихиях — огне, воздухе, воде и земле — было создано Платоном (427—347 гг. до н. э.). Еще до начала творения божеством Вселенной эти стихии, говорит Платон, имели некоторые черты своей природы, но все же они являются позднейшими образованиями первобытной материи, причем все эти стихии, или виды материи, по своей малости недоступны нашему зрению и мы видим только массы их. Мнение, что стихии могут рождаться одна из другой, Платон считает правильным только в отношении первых трех стихий. Земля, утверждает он, перейти в другой вид не может, но из двух с половиной частей воздуха может сплотиться «один цельный вид воды» (Платон, 1879, стр. 434). Когда же Платон говорит об огне, воздухе, воде и земле в их зримой телесной форме, то в круг взаимопревращающихся стихий включается и земля. Вода, полагает он, «превращается в камни и землю», и «стихии, как видно, идут кругом и последовательно дают рождение одна другой».

Иной смысл учение о стихиях имело у Аристотеля (384—322 гг. до н. э.). В отличие от Платона, своего учителя, Аристотель рассматривал те же четыре стихии, или элемента, не как различные виды материи, а как сочетания четырех качеств, присущих единой материи, — теплого и холодного, сухого и влажного. Из комбинации теплого и сухого образуется огонь, теплого и влажного — воздух, холодного и влажного — вода, холодного и сухого — земля (сочетания взаимопротивоположных качеств: теплое — холодное, сухое — влажное, качественно новых элементов образовать не могут). Все стихии могут превращаться одна в другую, и «каждая потенциально присутствует в других» (Aristotele, 1863, стр. 7). Многообразие всех тел в природе обязано сочетанию элементов в различных пропорциях. Аристотель относил землю и воду к стихиям «тяжелым», движущимся к центру Вселенной (т. е. Земли, поскольку он ставил ее в центр Вселенной), а огонь и воздух — к стихиям «легким», движущимся от центра к периферии, из чего он и исходил при объяснении многих метеорологических явлений (испарения, образования облаков, выпадения осадков и др.). Аристотель считал воду главной составной частью металлов, входящей также и в минералы, преобладающим элементом которых является огонь, и образование их связывал с отвердеванием испарений в земных недрах. Испарения разделялись Аристотелем на пар, влажный и холодный, производимый под действием солнечного тепла водой, и дым, сухой и горячий, производимый землей.

Римский инженер и ученый Марк Витрувий Поллион (2-я половина I в. до н. э.) писал, что «по мнению естествоведов, философов и жрецов... все вещи в основе образуются в результате мощного действия воды» (Витрувий, 1936, стр. 214).

В связи с представлением древних натуралистов о взаимопревращаемости стихий интересно отметить, что слово «кристалл», по-гречески означающее «лед», применялось греками к горному хрусталу, прозрачному, как вода, представляющему собой разновидность кварца. Они считали, что этот хрусталь не что иное, как образовавшийся в условиях сильных горных морозов настолько прочный лед, что он не тает ни при какой жаре.

Спустя несколько столетий учение Аристотеля о четырех элементах,

как сочетаниях двух из четырех первичных качеств единой материи, нашло сторонников в лице ученых арабского мира. В энциклопедическом труде иранских ученых, относящемся ко второй половине X в., находится утверждение: «Знай, что первые силы всеобщей души в этих элементах (т. е. в огне, воздухе, воде земле) — это тепло, холод, влажность и сухость» (Избранные произведения мыслителей..., 1961, стр. 157)<sup>1</sup>. Там же говорится, что в своем нижнем слое воздух не является чистым, а смешан с водой и землей; потому-то он и опустился из верхних сфер. В своей «Книге исцеления» Авиценна (980—1037 гг.) писал, что «воде по ее природе свойственно... превращаться в землю благодаря преобладанию землистой силы... и земле по ее природе свойственно превращаться в воду благодаря преобладанию в ней водной силы» (там же, стр. 277). Сторонником учения Аристотеля был и известный арабский алхимик Джабир ибн-Хайян (Гебер) (721—815 гг.), считавший, что «растворение состоит в том, чтобы превратить сухое вещество опять в воду» (см. Вальден, 1921, стр. 6). Для объяснения происхождения металлов он к четырем элементам Аристотеля добавил еще два — ртуть и серу, олицетворяющих собой влажность и горючесть и образующихся при сгущении испарений в земных недрах.

В Европе, пережившей глубокий упадок в развитии научной мысли, начавшийся накануне нашей эры и продолжавшийся более тысячелетия, в течение этого времени истолкование наблюдаемых явлений природы всецело подчинялось богословской схоластике.

В XII в. главным образом благодаря немецкому ученому-схоласту Альберту фон Больштедту [Альберт Великий, 1193 (или 1207) — 1280 гг.] вновь возрождается и надолго овладевает умами европейских ученых натурфилософия древних греков, и прежде всего Аристотеля, ставшая известной непосредственно по греческим текстам, а до того знакомая им лишь по несовершенным изложениям в «Проблемах естествознания» Сенеки (6—3 гг. до н. э.—65 г. н. э.) и в «Естественной истории» Плиния Старшего (23—79 гг. н. э.).

Идея о взаимопревращении первичных стихий приобретает сторонников в лице виднейших натуралистов того времени.

Вода как синоним всего жидкого вновь привлекает к себе внимание многих исследователей, занимавшихся проблемой растворения твердых тел, и рассматривается как первооснова всего многообразия природы. Так, в сочинении немецкого алхимика Н. Фламелья (род. в 1330 г.) говорится, что «растворение не есть поглощение их (тел.—И. Ф.) водой, а переход или изменение тел в воду, из которой они были первоначально созданы» (см. Вальден, 1921, стр. 7).

Подобный взгляд на воду разделялся и такими известными учеными, как французский натуралист Б. Палисси (1510—1590 гг.), голландский химик и физиолог И. Ван-Гельмонт (1577—1644 гг.) и англичанин Р. Бойль (1627—1691 гг.), один из основателей научной химии.

Все мировые тела, считал Палисси, происходят из водной субстанции, а Ван-Гельмонт, признавая первичными элементами лишь воду и отчасти воздух, писал о воде: «Теперь надо показать, что все тела (которые считались смешанными), какой бы природы они ни были, непрозрачные и прозрачные, твердые и жидкие, сходные и несходные (как камень, сера, металл, мед, воск, жир, охра, мозг, хрящи, дерево, кора, листья и т. д.), составлены фактически из простой воды и могут быть полностью переведены в безвкусную воду, причем не остается ни малейшей доли земного мира» (см. Джуа, 1966, стр. 67). Ф. Даннеман замечает, что взгляд Ван-Гельмонта на воду как на главную часть всех веществ «не был пустой философской спекуляцией», а основывался на ошибочном истолковании им собственного опыта. Он насыпал в глиняный сосуд 200

<sup>1</sup> Для работ, входящих в сборники, указываются страницы сборников.

фунтов земли и посадил в нее пятифунтовую иву, которую поливал дождевой водой. Через 5 лет ива весила 170 фунтов, в то время как вес земли уменьшился всего на несколько унций. Тогда еще не знали о роли атмосферного углерода в питании растений, и Ван-Гельмонт приписал увеличение веса ивы исключительно воде (см. Даниелман, 1936, стр. 179).

Р. Бойль подверг критике как аристотелевские, так и алхимические начала; последних в то время, согласно Т. Парацельсу (1493—1541 гг.), было уже не два, как у Гебера, а три: сера, ртуть и соль. Бойль не считал возможным объяснить все разнообразие тел, признавая первоначальными лишь очень ограниченное число элементов. Он выдвинул корпускулярную теорию строения материи, понимая под корпускулами, как он писал об этом в 1661 г. в своем «Sceptical chymist», «некоторые первоначальные или простые, вполне несмешанные тела, которые не состоят из каких-либо других тел или друг из друга и являются теми составными частями, из которых непосредственно сложены все вполне смешанные (т. е. сложные) тела и на которые последние в конце концов распадаются» (см. Меншуткин, 1937, стр. 74). Исходя из корпускулярной теории, Бойль объяснял агрегатные состояния веществ. Но и он не мог еще отрешиться от мнения о возможности превращения воды в твердые вещества. Для того чтобы опровергнуть взгляд, что органические вещества содержат много ртути, а также серу и соль, Бойль поставил опыт с выращиванием тыквы без земли, в результате которого пришел к выводу, что вещество тыквы представляло собой одно из превращений воды.

Вместе с тем в это время научная мысль все более приближалась к пониманию различия между водяным паром и воздухом, к отрицанию превращения воды в воздух и обратно. Как отмечает Э. Буан, Ван-Гельмонт, допуская возможность превращения воды в землю, в 1630 г. «встал против доктрины о превращении воды в воздух» (Буан, 1897, стр. 135).

Ван-Гельмонт, первым употребивший понятие «газ», отличал газы от атмосферного воздуха, а ввиду их несгущаемости, как тогда считалось, и от паров воды. Он допускал, что облака, представляющие собой скопление паров, могут обращаться в газы при весьма ясном небе «действием холода и под влиянием звезд». Газ, полагал Ван-Гельмонт, может превратиться в воду, но только после того, как он сначала обратится в пар (см. Гумбольдт, II, 1871, стр. 308). Таким образом, воздух в отличие от водяного пара выделялся Ван-Гельмонтом в самостоятельную субстанцию, не способную к непосредственному превращению в воду. О воздухе и паре как об отдельных материях ясно говорится у Г. Галилея (1564—1642 гг.) в его «Диалоге о двух важнейших системах мира» (Галилей, I, 1964, стр. 531).

Различие между воздухом и паром было очевидным и для Р. Декарта (1596—1650 гг.), писавшего в 1637 г.: «... не следует сомневаться в том, что воздух может содержать иногда столько же или больше паров, когда их совершенно не видно, чем когда они видны» (Декарт, 1953, стр. 203).

В «Началах философии» Декарта, изданных впервые в 1644 г., имеется параграф «О природе воды; и почему она легко превращается то в воздух, то в лед». На этот вопрос дается следующий ответ. Вода состоит из частиц двух видов — гибких и негибких. Если эти частицы, подходящим образом связанные друг с другом, разделяются, то одни (гибкие) дают пресную, а другие соленую воду. И далее: соотношение между частицами двух видов и «силой, с которой их двигают шарики второго элемента (второго из трех, составляющих материю: тончайших, менее тонких круглых и грубых продолговатых.— *И. Ф.*)», таково, что, «когда эти шарики действуют меньше обычного, они превращают воду в лед, а частицы воздуха — в воду; если же они действуют несколько сильнее, то более тонкие частицы воды, а именно гибкие, превращаются в

воздух» (Descartes, 1905, стр. 232). Это рассуждение о строении воды и ее превращении в лед и воздух не должно оставить сомнения в том, что Декарт считал пар и воздух различными субстанциями. Об этом ясно говорится в его сочинении «Метеоры»: «Так, если вода сильно разрежена и превратилась в очень тонкий пар, говорят, что она преобразовалась в воздух, хотя тот распространенный воздух, которым мы дышим, состоит по большей части лишь из частиц, форма которых очень отлична от формы частиц воды, значительно более подвижных» (Декарт, 1953, стр. 217).

Вместе с тем из приведенных высказываний Декарта можно заключить, что, хотя он определенно различал водяной пар и воздух как отдельные субстанции, их взаимопревращение им не отрицалось.

Накопившиеся эмпирические данные уже в рассматриваемое время все убедительнее опровергали концепцию древнегреческих натурфилософов о взаимопревращениях воды и воздуха и заставляли думать, что эти стихии — материи разного рода. Свидетельством этого является, например, следующее высказывание пизанского ученого Дж. дель Папы в его сочинении, изданном во Флоренции в 1681 г.: «Пар превращается обратно в воду, а это равносильно тому, как если бы сказали, что вода, сначала разреженная под действием тепла, конденсируется холодом и возвращается к состоянию воды; несомненно, не воздух превращается в воду» (см. Миддлтон, 1969, стр. 25). О различии между воздухом и паром писал в 1688 г. и Д. Папен (1647—1712 или 1714 гг.).

И все же полной ясности в вопросе о невозможности взаимопревращений воды (пара) и воздуха не было, по-видимому, вплоть до последней четверти XVIII в., когда были установлены составы воздуха и воды. Так, в опубликованной в 1734 г. работе шведского академика М. Тривальда, пытавшегося создать пароатмосферную машину, о паре, впускавшемся из парогенератора в цилиндр, говорилось, что «он является не чем иным, как влажным воздухом, нагретым в высокой степени, каждая частица воздуха окружена несравненно тонкой пленкой воды, очень напоминающей пузырь» (см. Конфедератов, 1969, стр. 20). И даже 50 годами позже, в 1784 г., знаменитый изобретатель паровой машины Дж. Уатт (1736—1819 гг.), одним из первых указавший тогда же на сложность состава воды (о чем — ниже), писал в «Philosophical Transactions»: «В течение многих лет я держался мнения, что воздух есть видоизменение воды» (см. Дорфман, 1962, стр. 166). Так, в 1782 г. в одном из писем Уатт высказывает предположение, что при сильном нагревании водяного пара он, «по всей вероятности, совершенно изменит свою природу и превратится в какой-нибудь газ или воздух» (см. Каменский, 1891, стр. 77).

Вместе с тем и мнение о том, что вода является веществом, из которого могут образовываться все твердые тела, продолжало иметь своих сторонников еще в течение столетия<sup>1</sup>. Это многовековое заблуждение было опровергнуто проведенными в 1769—1770 гг. А. Лавуазье (1743—1794 гг.) опытами, которые показали, что осадок, образующийся в стеклянном сосуде после длительного кипячения в нем воды, представляет собой вещество самого сосуда как результат разъедания его стенок, а вовсе не продукт превращения воды в землю, как считалось. Сообщение об этих важных опытах Лавуазье появилось в печати в 1770 г.,

<sup>1</sup> Авторы, разделявших указанный взгляд на воду, можно найти и в русской научно-философской литературе конца XVIII в. Например, А. Н. Радищев (1749—1802 гг.) в сочинении «О человеке, его смертности и бессмертии», написанном в 1792—1796 гг. в илимской ссылке, говорил о воде: «Отсутствие из нее огня делает ее твердую, так нельзя ли сказать, что она, по существу своему, тело твердое?» (Радищев, 1949, стр. 319). «По существу своему» — это значит в качестве одной из четырех первичных стихий, которые, «сколько из опыта понимать можно... чувствам нашим поддаться не могут» (стр. 330), а, видимые только «в сопряжении одна с другой», «столь естество свое изменяют», что «вода становится Земле подобна» (стр. 331).

а в 1771 г. был опубликован мемуар Лавуазье «О природе воды», убедительно показавший ложность мнения о том, что вода может превращаться в землю. Но окончательно неправильное представление о воде, якобы способной производить твердые вещества, могло быть развеено только после того, как тем же Лавуазье вместе с другими химиками был определен химический состав воды.

Как оказалось, вода — жидкость, состоит из двух невидимых газов, и их открытие явилось трудным предварительным этапом в истории выяснения химического состава воды.

## ОТКРЫТИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ

Вероятно, Майов первым указал на присутствие в атмосферном воздухе кислорода, т. е. той части воздуха, которая принимает участие в горении, окислении и дыхании и которая тогда называлась селитряно-воздушным газом. Но А. Гумбольдт замечает, что «кислород был для Гука и Майова идеальным предметом, вымыслом умственного мира» и что только С. Гейлс (1677—1761 гг.) «увидел в первый раз кислород, отделяющийся в виде газа, в то время, когда он сжигал свинец» (Гумбольдт, II, 1871, стр. 311). Это наблюдение английского ученого С. Гейлса относится уже к 20-м годам XVIII в.

Бойль проводил опыты по исследованию процесса сжигания металлов, прокаливанию их в запаянных стеклянных сосудах. Об этих опытах Бойля Гумбольдт писал: «Осмотрительно-сомневающийся Роберт Бойль хотя и признавал, что для процесса горения необходимо присутствие какой-нибудь составной части атмосферного воздуха, но он оставался в нерешимости о селитряном свойстве этой части» (там же).

Увеличение веса металлов, обжигаемых в запаянных трубках, Бойль объяснял проникновением в металлы сквозь поры стекла частичек теплоты, которую он считал весомой материей. На ошибочность такого объяснения было указано М. В. Ломоносовым (1711—1765 гг.), писавшим в 1745 г., что «при процессе обжигания к телам присоединяется некоторая материя, только не та, которая приписывается собственно огню» (Ломоносов, 2, 1951, стр. 47). Позже, в 1756 г., Ломоносов, основываясь на своих опытах по прокаливанию металлов «в заплавленных накрепко стеклянных сосудах», утверждал, что «без пропущения внешнего воздуха вес сожженного металла остается в одной мере».

С. Гейлс, экспериментировавший столетие спустя после Ван-Гельмонта, обнаружив выделение кислорода, не исследовал его свойств. Во-первых, «он не подозревал важности вещества, им приготовленного» (Гумбольдт, II, 1871, стр. 311), а во-вторых, и это главное, он разделял общепринятое мнение, что все газы представляют собой разновидности воздуха различной степени чистоты. «Идея о специфически-разнородных газах,— говорит А. Гумбольдт,— никогда не была вполне ясной в течение семнадцатого столетия, даже для тех, которые производили эти газы» (там же, стр. 314). Пониманию этой специфичности, подчеркивает он, мешало старое убеждение в стихийной простоте (неразложимости) воздуха. Как замечает В. Оствальд, «до времен Блэка слово «газ» не знало множественного числа», все газы объединялись понятием воздуха (Рамсей и Оствальд, 1909, стр. 82).

Хотя, как мы видели, еще в начале XVII в. были высказаны догадки об участии в горении какой-то находящейся в атмосферном воздухе субстанции, выяснению процессов горения, окисления металлов, дыхания мешала загадочность того очевидного факта, что при сгорании на воздухе одних веществ остаются продукты горения, весящие больше, чем сгоревшее вещество, а при сгорании других веществ остается лишь небольшое количество пепла. Объяснение природы указанных реакций поч-

ти до конца XVIII в. пытались найти в флогистонной теории. Согласно ей считалось, что все горючие тела и металлы содержат некое общее начало горючести — флогистон, которого особенно много в маслах, сере, угле. Сгорание веществ рассматривалось флогистиками как потеря этими веществами флогистона. Окалина металлов, считавшаяся ими простым веществом, могла быть вновь превращена в сложное вещество — металл при нагревании ее вместе с углем, т. е. почти якобы чистым флогистоном.

Тот факт, что гипотетический флогистон мог проявлять себя лишь в воздушной среде (в вакууме окалина на металлах не образовывалась), естественно, привлекал внимание ученых к исследованию природы воздуха. Первым крупным открытием на этом пути явилось обнаружение английским химиком Дж. Блэком (1728—1799 гг.) в 1756 г. специфического газа, отличного от обычного воздуха, названного Блэком «связанным воздухом». Он описал его и указал на то, что в небольшом количестве этот газ находится в атмосферном воздухе и может быть выделен из него путем продувания воздуха через известковую воду (см. Девис и Дэй, 1964, стр. 31). Блэк открыл углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) и, можно сказать, тем самым пробил серьезную брешь в представлении о воздухе как о простом, неразложимом газе.

К 1766 г. относится описание Г. Кавендишем (1731—1810 гг.) водорода. Он собрал его в чистом виде и измерил его плотность. Было найдено, что выделенный газ в 11 раз легче атмосферного воздуха (в действительности — в 14,38 раза). В опыте Кавендиша чистый водород получался путем обливания кусков цинка или олова серной или соляной кислотой. Выделенный таким образом газ Кавендиш назвал «воспламеняющимся воздухом из металлов» (*inflammable air from metals*)<sup>1</sup>. Полагая, что металлы при соединении с кислотами теряют флогистон, он посчитал, что им был выделен чистый флогистон или соединение его с водой. Заметим, что еще раньше, в 1745 г., Ломоносов также идентифицировал с флогистоном водород, выделявшийся в его опыте при действии соляной кислоты на железо и другие металлы.

Вскоре была открыта и исследована другая основная компонента воздуха — кислород, причем тоже почти одновременно несколькими учеными. А. Лавуазье, приступивший в 1772 г. к изучению горения веществ и образования окислов металлов, обратил внимание на большое увеличение веса фосфора при сгорании его в воздухе. Первый же опыт по сжиганию фосфора под колоколом, погруженным в воду, показал, что при горении было поглощено  $\frac{2}{11}$  объема воздуха, находившегося под колоколом. Поглощение воздуха происходило и при сжигании серы, олова и свинца. То же явление уменьшения количества воздуха в сосуде при сгорании в нем фосфора было обнаружено в 1772 г. Пристли.

Опыты, проведенные А. Лавуазье, не оставили у него сомнения в том, что «сущность горения фосфора состоит... в поглощении воздуха или другого упругого флюида, содержащегося в воздухе» (Lavoisier, 1, 1862, стр. 652), и что вообще при горении веществ к ним присоединяется какая-то часть атмосферного воздуха. Сначала он даже думал, что этой частью является «связанный воздух», т. е. углекислый газ. Однако опытом 1773 г. он опроверг это предположение.

В начале 1774 г. А. Лавуазье провел эксперименты по обжигу олова и свинца в запаянных сосудах, которые дали новые доказательства того, что горение может происходить только в воздушной среде и что на это расходуется определенная доля воздуха. При этом, отмечал Лавуазье, «порция воздуха, соединяющегося с металлами, несколько тяжелее, чем воздух атмосферы, а часть воздуха, остающаяся после обжига, наоборот,

<sup>1</sup> Название «водород» (*hydrogène* — «рождающий воду») было дано этому газу А. Лавуазье. Термин утвердился в химии по предложению номенклатурной комиссии Парижской академии наук (1787 г.).

несколько легче его» (Lavoisier, 2, стр. 105), и, следовательно, удельный вес воздуха атмосферы должен быть средним из весов обоих видов воздуха.

Лавуазье находился на верном пути к открытию кислорода, был близок к нему. Но первым кислород открыл английский ученый Дж. Пристли (1733—1804 гг.). Это произошло в августе 1774 г., когда Пристли, продолжая изучать газы, поместил в закрытый сосуд красный порошок окиси ртути и нагрел его зажигательным стеклом. Из порошка выделился газ. Исследуя этот газ, Пристли обнаружил, что свеча горит в нем «светлее, чем в обычной атмосфере». Будучи непреклонным сторонником флогистонной теории, Пристли не мог понять всей важности своего открытия и выделенный им кислород посчитал за «бесфлогистонный воздух».

Осенью 1774 г. Лавуазье узнал от Пристли об его экспериментах с окисью ртути и, повторив их, выделил, как он писал в отчете Парижской академии наук весной 1775 г., «наиболее чистую часть воздуха, который нас окружает». Он описал свойства выделенного газа, назвав его «жизненным воздухом».

Учеными, открывшими и исследовавшими кислород, было обнаружено, что его присутствие является необходимым условием горения веществ и дыхания. И если Пристли старался согласовать это открытие со своей приверженностью к флогистонной теории, то для Лавуазье было ясно, что объяснение горения в признании некоего огненного начала, флогистона, не нуждается и что последнего вообще не существует.

На основании опытов, проведенных в 1775—1777 гг., Лавуазье писал о вновь открытом газе: «...я показал, что этот воздух составляет одну четверть всего вдыхаемого нами воздуха, что только одна четверть атмосферы содействует горению, между тем как остальные три четверти представляют собой удушливый упругий флюид, в котором зажженные тела гаснут, словно погруженные в воду» (Lavoisier, 2, стр. 424). Более точно содержание кислорода в воздухе было определено в 1781 г. Кавендишем (20,83% по объему), подметившим также постоянство соотношения двух видов атмосферного воздуха — «бесфлогистонного» и «удушливого».

Таким образом, к 1775 г. было определено установлено, что атмосферный воздух не является простой, неразложимой субстанцией, а состоит из двух газов, один из которых, кислород<sup>1</sup>, принимает активное участие в реакциях соединения, и что горение в воздушной среде представляет собой процесс присоединения кислорода к сгораемому веществу. Но тот факт, что соединение кислорода с другим газом, «горючим воздухом», дает воду, оставался неизвестным. Вода продолжала считаться простым, неразложимым элементом. Во французской «Энциклопедии» Дидро и Даламбера (том V, 1755 г.) о воде писалось: «Вода есть элемент или первое начало, вещество самостоятельное, простое, чистое, неделимое и невоспроизводимое» (см. Менделеев, 5, 1947, стр. 217). А. Лавуазье, собиравшийся вслед за мемуаром «О природе воды» написать большой «Трактат о воде», последнюю главу трактата намеревался посвятить опытам, доказывающим, что «вода не разлагается ни одним из методов, которые применяли до сих пор». То же представление о воде как о субстанции «неизменной и неразрушимой» содержится в вышедшем в 1778 г. вторым изданием «Химическом словаре» французского автора П. Макара (1718—1784 гг.).

Однако продолжавшиеся исследования процесса горения не могли не привести в скором времени к пониманию того, что и вода не простое, а химически сложное вещество.

<sup>1</sup> Название «кислород» (oxigène — «образующий кислоту») было введено в 1777 г. А. Лавуазье. Он считал, что кислород входит во все кислоты. Хотя в начале XIX в. была установлена ошибочность этого мнения, термин «кислород», рекомендованный номенклатурной комиссией Парижской академии наук (1787 г.), получил распространение.



Выяснение природы воды, ее состава связано с именами нескольких исследователей; среди них на первом месте находятся Г. Кавендиш, Дж. Пристли, Дж. Уатт и А. Лавуазье. Уже зная, в чем состоит процесс горения, Лавуазье в начале 1774 г. решил выяснить, что является продуктом горения газа, названного им позднее водородом. Предполагая, что при горении образуется какая-то кислота, Лавуазье не нашел подтверждения этого предположения ни в опыте 1774 г., ни в опытах, проведенных им со своими помощниками в 1775, 1777, 1781 и 1782 гг., и в то же время не мог обнаружить «неожиданного» продукта — воды.

Однако тот факт, что при сгорании горючего воздуха на стенках сосудов оседают водяные капельки (роса), не остался незамеченным рядом химиков. Так, этот факт наблюдали вместе с другими участниками экспериментов Макер в 1775 г. и Пристли в 1777 г. Но серьезного внимания к себе эти наблюдения не привлекали, пока за изучение природы росы, образуемой горением водорода, не взялся Г. Кавендиш. В опыте, проведенном летом 1781 г., Кавендиш сжигал «горючий воздух» в обыкновенном воздухе и, пропуская продукты горения через стеклянную трубку длиной около 2,5 м, собрал 8,5 г жидкости.

Из данных опытов, обобщенных Кавендишем Королевскому обществу лишь в январе 1784 г., следовало, как писал он затем в статье «Опыты над воздухом», что «при взрыве горючего воздуха и обыкновенного воздуха, взятых в подходящей пропорции, почти весь горючий воздух и около пятой части обычного воздуха теряют свою упругость и конденсируются в туман. Опыт показывает, что этот туман представляет собой обычную воду» (см. Джуа, 1966, стр. 114).

«Подходящую пропорцию» в опытах Кавендиша составляли 423 объема «горючего воздуха» и 1000 объемов обычного воздуха (см. Корр, 1875, стр. 258). Поскольку при сгорании всего объема водорода каждый раз расходовалась примерно лишь одна пятая (20,83%) взятого объема атмосферного воздуха, т. е. около 200 объемов, то, следовательно, образование воды происходило при взрыве смеси водорода и кислорода приблизительно в соотношении 2 : 1.

Таким образом, Кавендиш достиг того результата, который ожидал, т. е. синтеза воды как продукта взрыва должным образом составленной смеси горючего и обыкновенного воздуха. Однако, признавая существование флогистона, он не смог понять природы воды, определить ее действительный состав. О выводах из своих опытов Кавендиш писал, что они дают ему «безусловное основание считать, что дефлогистированный воздух представляет собой воду, лишенную своего флогистона, и что горючий воздух является... либо флогистированной водой, либо даже чистым флогистоном; по всей вероятности, первым» (см. Дорфман, 1962, стр. 163).

Опыты Кавендиша были повторены Пристли. Пристли заключил из своих опытов, что в них «воздух был обратно превращен в воду и что источником его была вода» (там же, стр. 164). Ж. Делюк (1727—1817 гг., швейцарец, живший в Англии), имея в виду эту интерпретацию Пристли своих опытов, писал в 1786 г.: «Менее чем шесть лет тому назад любого, кто предположил бы, что вода может существовать в виде воздуха, сочли бы фантазером» (см. Миддлтон, 1969, стр. 109).

Первым, кто указал на сложность состава воды, был Дж. Уатт. В мемуаре «Мысли о составных частях воды и о кислороде», относящемся к началу 1783 г., он писал, что «вода, свет и тепло суть единственные продукты бурного соединения водорода и кислорода в закрытом сосуде при опытах Пристли, что, следовательно... вода состоит из кислорода и водорода<sup>1</sup>, лишенных части их скрытого элементарного тепла», и что «чистый или лишенный флогистона воздух состоит из воды, лишенной своего во-

<sup>1</sup> Каменский применяет названия газов, образующих воду, получившие распространение несколько позже.

дорода и соединений с элементарным или скрытым теплом и светом»<sup>1</sup> (Каменский, 1891, стр. 79). Те же мысли Уатт высказал в своем письме Блеку от 21 апреля 1783 г. (см. Радциг, 1924, стр. 86) и в письме Пристли, датированном 26 апреля 1783 г. и опубликованном впервые Р. Скофилдом в 1954 г. в 10-м томе «Annals of Science» (стр. 294).

В истории научной мысли эксперименты Лавуазье 1774—1782 гг. и эксперименты Кавендиша по сжиганию водорода представляют собой поучительные примеры того, как иногда концепции, принимаемые за истинные, но в действительности ошибочные, мешают правильно истолковать факты, если исследователь пытается согласовать их с неправильными взглядами. Лавуазье в продукте горения водорода ожидал обнаружить кислоту, но, не получив ее, не заметил и действительного продукта — воды. В то же время Кавендиш нашел то, что искал, т. е. воду, был близок к выяснению ее состава, но, отрепшившись от флогистонной гипотезы, не смог понять действительную природу воды.

По поводу исследований Уатта необходимо сделать следующее замечание. Неточные высказывания некоторых авторов об участии Уатта в изучении воды могут оставить не вполне правильное представление о характере этого участия. Когда приводится упрек в адрес Лавуазье, что он «в одном из своих докладов умолчал о том, что и Кавендиш и Уатт, сжигая смесь дефлогистированного воздуха с «горючим воздухом», ожидали появления воды, а не чего-либо другого» (Дорфман, 1962, стр. 168); когда читаем, что Уатт «принимал участие в знаменитых опытах Кавендиша и Пристли по анализу воды» (Кудрявцев, стр. 269); или когда В. И. Вернадский, оценивая значение исследований Уатта, пишет, что в 1783 г. «рядом блестящих опытов (подчеркнуто нами. — И. Ф.) был установлен тот же факт состава воды из кислорода и водорода в определенных количествах третьим великим натуралистом Д. Уаттом» (Вернадский, 1960, стр. 217), — не может не возникнуть впечатления, что Уатт, как и Кавендиш, проводил эксперименты по сжиганию водорода. Но, очевидно, верно то, что писал по поводу установления состава воды Ю. Либих: «Кавендиш и Ватт оба открыли состав воды. Кавендиш прочно поставил факт, Ватт — идею» (Либих, 1861, стр. 61). Таково же мнение и историка химии Г. Коппа (Корр, 1875 г.). Вместе с тем ясно, что именно благодаря экспериментам по изучению паробразования, проводившимся Уаттом в течение многих лет в связи с изобретением паровой машины, и, как замечает А. Каменский, благодаря его умению «из всего делать науку» он «не мог не додуматься до новых научных истин» (Каменский, 1891, стр. 77). А. Каменский приводит слова Уатта, сказанные им однажды в старости: «Не все ли равно, кто первый открыл состав воды; важно, что он открыт» (там же, стр. 79).

Если первым, благодаря кому стал известен состав воды, был Г. Кавендиш, а третьим Дж. Уатт, то кто был вторым? Им был А. Лавуазье. Узнав в начале июня 1783 г. от приехавшего в Париж секретаря Лондонского королевского общества Блэгдена об опытах Кавендиша и Пристли и усомнившись в результатах их исследований, он решил провести тот же эксперимент на своей более совершенной, чем у Кавендиша, аппаратуре. Опыт был поставлен 24 июня 1783 г. в присутствии членов Парижской академии и с участием П. С. Лапласа (1749—1827 гг.). Правильность заключения Кавендиша о том, что при сгорании «горючего воздуха» образуется вода, подтвердилась: полученная жидкость, исследованная по всем

<sup>1</sup> Нельзя не отметить, что в книге И. Я. Конфедератова «Джеймс Уатт — изобретатель паровой машины» приведенная на стр. 208 в искаженном виде цитата из «Писем о химии» Ю. Либиха по одному английскому источнику не дает правильного представления о взгляде Уатта на состав воды. Непонятен и комментарий автора, в котором он ошибочно указывает, что в химии времен Уатта водород называли дефлогистированным воздухом, а кислород — воспламеняющимся воздухом (а не наоборот).

правилам, оказалась чистой водой. Этот опыт и его результаты освещены А. Лавуазье в его докладе под названием «Мемуар, в котором поставлена задача доказать, что вода не есть вовсе простое тело, элемент в буквальном смысле этого слова, но что она может быть разложена и вновь воссоединена» (Lavoisier, 3, 334), представленном Академии наук в ноябре 1783 г. Лавуазье, еще в 1774 г. признавший научную несостоятельность флогистонной гипотезы, сделал из опытов Кавендиша, Пристли и своего правильный вывод о том, что вода представляет собой химическое соединение двух газов — водорода («горючего водяного начала») и кислорода («жизненного воздуха»). Это важное научное достижение явилось новым и окончательным подтверждением ложности флогистонной теории.

Вода как продукт сгорания водорода была получена также французским ученым Г. Монжем (1746—1818 гг.) и даже раньше Кавендиша (Меншуткин, 1937, стр. 87), но его работа увидела свет только в 1786 г. А. Лавуазье она стала известна вскоре после проведения им своего опыта 24 июня 1783 г., и он, высоко оценивая аппарат, которым пользовался Монж, использовал его данные вместе со своими для вычисления объемов водорода и кислорода, вступающих в реакцию соединения без остатка. Оказалось, что на 12 объемов кислорода требуется 22,924 345 объема водорода (см. Дорфман, 1962, стр. 171).

Зимой 1783/84 г. Лавуазье продолжил исследование состава воды, теперь уже с Ж. Менье. Перед ними была поставлена задача изыскания наиболее экономичных способов получения больших количеств водорода для наполнения азростатов. «И совершенно естественно,— писал Лавуазье,— что мы занялись извлечением его из воды, поскольку у нас были уже серьезные основания полагать, что он в ней содержится в большом избытке...» (Lavoisier, 3, стр. 350).

В феврале 1785 г. исследования были завершены: Лавуазье и Менье в присутствии более тридцати ученых провели успешные опыты по разложению и синтезу воды в больших количествах. Из этих опытов следовало, что по весу в воде содержалось кислорода в пределах 14—19,5% (см. Дорфман, 1962, стр. 181, 182).

В конце XVIII — начале XIX в. рядом исследователей было установлено, что под действием электрического тока вода разлагается на свои составные части — кислород и водород. Впервые разложение воды было осуществлено в 1789 г. с помощью электрической машины Дейманном и П. фон Труствигом (Ладенбург, 1917, стр. 64). В 1800 г. А. Карлейль (1768—1840 гг.) и В. Никольсон разложили воду на составные части гальваническим током с помощью вольтова столба. Опыты по разложению воды вскоре были повторены и усовершенствованы в Англии Г. Дэви (1778—1829 гг.), в Германии И. Риттером (1766—1810 гг.), в России В. В. Петровым (1761—1834 гг.), без колебаний воспринявшим теорию горения Лавуазье. Опыты по электрическому разложению воды окончательно утвердили представление о ее составе.

Так закончился длившийся многие века первый этап в выяснении проблемы «Что такое вода?» — этап, завершившийся утверждением того, что вода есть химическое соединение двух специфических газов.

В. И. Вернадский писал о выяснении состава воды трудами «трех великих натуралистов» как о «великом открытии, фактически создавшем новую химию и перевернувшем все наши представления о Космосе» (Вернадский, 1960, стр. 217).

Следует, однако, отметить, что некоторые весьма крупные ученые, и среди них Ж. Делюк, Ж. Б. Ламарк и Дж. Пристли, разделяющий вместе с другими заслугу в открытии кислорода, уже в начале XIX в. продолжали считать воду простым элементом. Так, Делюк в двух мемуарах, опубликованных в 1803 г., по-прежнему пытался опровергнуть результаты исследований Лавуазье, утверждая при этом, что им противоречат многие метеорологические явления.

Прежде чем перейти теперь к освещению истории дальнейшего изучения воды уже как химического соединения, необходимо коротко сказать о выяснении ряда физических свойств воды еще до того, как стал известен ее состав.

В 1612 г. Г. Галилей в работе «Рассуждение о телах, пребывающих в воде» высказал мнение, что плавание льда и других тел в воде объясняется только их меньшей по сравнению с водой плотностью, а не их формой, как считали перипатетики (последователи Аристотеля) в противоречии с законом Архимеда. Правильность этого взгляда была подтверждена экспериментально, в частности Р. Бойлем в 1665 г. Тогда же увеличение объема воды при замерзании было замечено голландским физиком Х. Гюйгенсом (1629—1695 гг.). Исследования более позднего времени, в частности эксперименты Р. Бунзена (1811—1899 гг.), показали, что плотность воды при 0° равна 0,999968, а льда — 0,9168 г/см<sup>3</sup>, т. е. при переходе воды в твердое состояние ее объем внезапно увеличивается почти на 10% (уже Дальтон принимал удельные веса воды и льда при 0° как 100 и 92).

Учеными Флоренции в 1666 г. было установлено существование у воды состояния наибольшей плотности (Partington, 1951, стр. 40). Но только сотню лет спустя, в 1772 г., после того как для измерения температуры получили распространение термометры, на шкалах которых нулевая отметка соответствует точке замерзания воды, Ж. Делюк обнаружил, что максимальную плотность вода имеет при температуре около +4° по Цельсию<sup>1</sup>. 4-градусная точка как точка наибольшей плотности воды была надежно установлена экспериментами Румфорда (Б. Томпсона) (1753—1814 гг.) в 1800 г. (там же)<sup>2</sup>. При установлении в конце XIX в. по предложению Парижской академии наук метрической системы мер и весов за единицу массы — грамм была принята масса кубического сантиметра чистой воды при 4°C. В 1797—1798 гг. были изготовлены эталоны метра и килограмма (платино-иридиевая гиря весом, равным весу воды в объеме одного кубического дециметра), принятые в 1872 г. в качестве международных прототипов меры длины и массы (Беклемишев, 1954).

Известно, что первый термометр (термоскоп) демонстрировал Галилей на своих лекциях в 1597 г. Внеся в этот термометр улучшения, флорентинские академики смогли впервые установить постоянство точки таяния льда. К тому же времени относится изобретение термоскопа К. Дреббелем (1604 г.) и предложение И. Даленсе (1640—1707 гг.) избрать опорными точками термометра точки таяния льда и коровьего масла.

Во второй половине XVII в. исследованиями Р. Гука, Х. Гюйгенса, Р. Бойля, И. Ньютона, Э. Галлея, Ренальдини, занимавшихся вопросами термометрии, было установлено постоянство точек кипения воды и плавления льда. Большие успехи в термометрии были достигнуты в конце XVII—начале XVIII в. французским физиком Г. Амонтюном (1663—1705 гг.). В его воздушном термометре за основные точки были приняты точки кипения воды и таяния льда. В 1724 г. голландским физиком Д. Фаренгейтом (1686—1736 гг.) был изобретен получивший широкое применение 212-градусный спиртовой термометр, в котором основными точками являются точка плавления охлаждающей смеси (льда, воды и нашатыря) и точка кипения воды.

Фаренгейту принадлежит установление того факта, что точка кипения воды зависит от атмосферного давления, на основании чего им был сконструирован гипсометрический термометр (Dictionary..., IV, 1971,

<sup>1</sup> Партингтон в своей работе, на которую только что сделана ссылка, Делюка в числе ученых, причастных к установлению температурной точки наибольшей плотности воды, не называет; его имя называется Д. И. Менделеевым (Менделеев, 5, стр. 211).

<sup>2</sup> Однако в 1-й части «Новой системы химической философии», опубликованной в 1808 г., Дальтон мог еще писать, что вода имеет наивысшую плотность при 38° по Фаренгейту (3,3° по Цельсию).

стр. 518), хотя считается, что указанная зависимость была подмечена впервые Д. Папеном. Фаренгейт открыл в 1724 г. явление переохлаждения воды.

В интервале между точками замерзания и кипения воды градуированы 80-градусная шкала в спиртовом термометре французского физика Р. Реомюра (1683—1757 гг.), предложенном в 1730 г., и 100-градусная шкала в ртутном термометре шведского ученого А. Цельсия (1701—1744 гг.), изготовленном в 1742 г.

Таким образом, свойство воды замерзать и переходить в пар в условиях нормального давления всегда при одних и тех же температурных уровнях, охватывающих диапазон температур на земной поверхности, в неглубоких слоях земной коры и в атмосфере, в первых десятилетиях XVIII в. было использовано при конструировании термометров.

Предпринимались многие попытки выяснить сжимаемость воды. Их безуспешность привела флорентинских академиков к мнению, что вода несжимаема. Впервые сжимаемость воды была доказана около ста лет спустя, в 1761 г., английским физиком Дж. Кантоном (1718—1772 гг.). Его замечательный эксперимент так зависел от точности измерений, что результат, приближающийся к современному значению степени сжимаемости, вызвал серьезные сомнения, но был подтвержден специальной комиссией Королевского общества (Dictionary..., III, стр. 52). На капиллярное поднятие воды обратил внимание еще Леонардо да Винчи (1452—1519 гг.). Флорентинец Дж. Борелли (1608—1679 гг.) указал в 1670 г. на зависимость поднятия жидкости в капиллярах от диаметра последних, а механизм поднятия он видел в том, что частицы воды имеют ветви-рычаги, которыми они зацепляются за неровности стенок капиллярных трубок и поднимаются до той высоты, при которой вес столба жидкости уравнивает подъемную силу рычагов.

Вода играла роль образцового вещества при проведении во второй половине XVIII в. калориметрических исследований петербургским академиком Г. Рихманом (1711—1753 гг.), в которых принимал участие и М. В. Ломоносов, а также Ж. Делюком, Дж. Блэком, Румфордом, А. Лавуазье и П. Лапласом, шведским физиком И. Вильке (1732—1796 гг.) и другими учеными.

При определении удельной теплоемкости тел в опытах Вильке по методу смешения жидкостей и в опытах Лавуазье и Лапласа с применением предложенного ими в 1777 г. ледяного калориметра за меру теплоемкости принималась теплоемкость воды. Уже тогда было выяснено, что вода обладает наибольшей удельной теплоемкостью по сравнению с другими жидкостями и твердыми телами<sup>1</sup>.

В 1754 г. Ж. Делюк, а в 1757 г. Дж. Блэк обнаружили скрытые теплоты плавления льда и парообразования. Результаты своих исследований Делюк опубликовал в 1772 г., а об исследованиях Блэка стало известно семью годами позже (хотя Уатт указывает на какую-то публикацию летом 1764 г.), но открытие Делюка было выражено в менее ясной форме. В те же годы это явление было установлено И. Вильке. Блэк определил в 1762 г. и величину скрытой теплоты образования водяного пара при атмосферном давлении (Радциг, 1936, стр. 142). А. А. Радциг, как и

<sup>1</sup> В 1819 г. Дюлонгом и Пти было установлено, что теплоемкость веществ зависит от их химических свойств, и эта зависимость выражается таким образом, что для элементов произведение величины теплоемкости на атомный вес равно приблизительно 6,4. Дальнейшими исследованиями было установлено, что закон Дюлонга и Пти распространяется и на химические соединения, но при этом надо брать среднюю арифметическую атомных весов всех составных частей молекулы. Для воды имеем: молекулярный вес — 18, число атомов — 3, средний атомный вес — 6, удельная теплоемкость — 1,0, произведение удельной теплоемкости на атомный вес — 6. Следовательно, высокой теплоемкостью обладают вещества, имеющие небольшой средний атомный вес, т. е. соединения, в которых преобладает водород. Вода относится к числу немногих таких веществ.

другой историк теплотехники, И. Я. Конфедератов, не приводит числового значения этой величины у Блэка, указывая лишь на то, что его определение скрытой теплоты парообразования было вскоре (по-видимому, в 1766—1767 гг., пишет Конфедератов) повторено Дж. Уаттом, получившим число, близкое к современному (534 кал/кг; современное значение — 539,2 кал/кг). С именами Ж. Делюка и Дж. Блэка связано и установление скрытой теплоты таяния льда. Делюк в опытах со льдом зимой 1754—1755 гг. обнаружил, что температура сосуда со льдом, поставленного на огонь, повышалась только до 0° и затем оставалась на одном уровне все время, пока лед обращался в воду, несмотря на приток огня (см. Кудрявцев, 1956, стр. 295). Количественное выражение скрытой теплоты и в этом случае не указывается, но можно сослаться на Дальтона, который, выражая скрытую теплоту таяния льда в градусах температуры, в своей «Новой системе» определял ее 150 градусами Фаренгейта (65° С).

К началу XVIII в. относится установление степени расширения воды при нагревании от точки замерзания до точки кипения. В учебнике, изданном в 1736 г. голландцем П. Мушенбруком, указывалось, что увеличение объема воды при изменении температуры в указанных пределах равно 1/26 (современное число примерно 1/23).

И это все, что было известно о воде в жидкой фазе к концу XVIII в.

Физические свойства водяного пара впервые подверглись обстоятельному изучению во второй половине XVIII в., но некоторые из этих свойств были подмечены еще в XVI—XVII вв. Выше говорилось, что в 30-х годах XVII в. стали отличать пар от воздуха, но только в «Оптике» И. Ньютона, вышедшей в 1730 г., была ясно высказана мысль, которую У. Миддлтон считает примером гениальности великого ученого, а именно мысль о том, что пар легче воздуха. «И поскольку,— писал Ньютон,— частицы неизменного воздуха крупнее и возникают из более плотных субстанций, чем частицы пара, отсюда следует, что истинный воздух тяжелее пара, а влажная атмосфера легче, чем сухая, в том же количестве» (Ньютон, 1954, стр. 396). Около того же времени мысль о меньшей тяжести водяного пара по сравнению с воздухом высказывали Дж. Деагюлье и ирландец Г. Илс (Миддлтон, 1969, стр. 36 и 100). Однако, замечает Миддлтон, утверждение Ньютона было слишком смелым, чтобы быть принятым, и на него никто не ссылался вплоть до 1770 г. Между тем незнание того, что водяной пар легче воздуха, сильно тормозило развитие метеорологии, в частности выяснение причин испарения, образования осадков, колебания атмосферного давления. Благодаря исследованиям Ж. Делюка, швейцарца О. Соссюра (1740—1799 гг.), Дж. Дальтона, много занимавшихся вопросами метеорологии, к концу века мнение, что пар легче воздуха, стало бесспорным, хотя соотношение их удельных весов в таблицах Дальтона 1803 и 1804 гг. было еще приблизительным, а именно как 0,7 : 1 (Дальтон, 1940, стр. 145, 146).

Опыты Дж. Уатта по изучению упругости водного пара показали, что степень расширения воды, обращаемой в пар при температуре кипения и нормальном давлении, определяется числом 1800. (Более точная цифра, по его же данным, как замечает Раддиг, около 1740; современное значение — 1670.) Важность этого результата исследования Уатта подчеркивается тем, что, согласно ошибочному мнению Дж. Деагюлье (1729 г.) и Мушенбрука (1736 г.), из одного объема воды могло получаться 14 000 объемов пара (факт, показывающий, насколько в то время были несовершенны и трудны измерения характеристик газов).

Исследования воды в твердом состоянии — льда в рассматриваемое время были весьма незначительны, и мало что было известно о нем кроме того, что он легче воды. В сведениях о льде, подытоженных Дальтоном в параграфе «О явлениях замерзания воды» (Дальтон, 1940, стр. 28), указывается, что кристаллы льда имеют углы 60° или 120° и что при замерзании воды, охлажденной ниже точки замерзания (Дальтон добывал

ся этого охлаждения до 7—8° по Фаренгейту), температура моментально поднимается до 32°Ф (0°С).

Достижения в изучении воды как вещества к концу VIII в. были следующими.

1. Благодаря исследованиям главным образом Кавендиша, Пристли, Уатта и Лавуазье было установлено, что вода, считавшаяся многие века простым веществом, представляет собой химическое соединение кислорода и водорода примерно в пропорции 1 : 2 по объему.

2. Были изучены некоторые физические свойства воды в ее трех агрегатных состояниях.

Для воды в жидком и парообразном состоянии были установлены следующие свойства:

1) вода в условиях нормального давления имеет наибольшую плотность при температуре около 4° Цельсия, и вес воды при этой температуре был принят в конце XVIII в. за эталон единицы веса;

2) под большим давлением вода может испытывать сжатие, но крайне незначительное;

3) вода обладает весьма высоким капиллярным поднятием;

4) с повышением температуры вода испытывает расширение своего объема, достигающее примерно 0,04 от 0° до точки кипения;

5) вода в сравнении с другими жидкостями и твердыми телами имеет самую высокую удельную теплоемкость, и ее теплоемкость была принята за масштаб (единицу) при измерении теплоемкостей других жидкостей, твердых тел и газов<sup>1</sup>;

6) вода по сравнению с другими жидкостями обладает наиболее высокой скрытой теплотой испарения, и ее значение было определено Уаттом с хорошим приближением к современным данным;

7) при превращении воды в пар из одного ее объема образуется около 1740 объемов пара, что также близко к действительному соотношению;

8) водяной пар легче воздуха — факт, установленный Ньютоном, но казавшийся невероятным до последней четверти XVIII в.

О льде сведения ограничивались почти только тем, что были определены его удельный вес и скрытая теплота плавления.

<sup>1</sup> «Сейчас трудно установить, — пишет Б. И. Пилипчук, — когда было введено в науку понятие количества теплоты, связанного с образцовым веществом — водой, и когда этой единице было присвоено название калории» (Пилипчук, 1959). Он называет 0°-ную калорию Ренью, 15-градусную калорию Варбурга, 20-градусную, среднюю и другие калории, т. е. калории, употреблявшиеся с 40-х годов XIX в. Но вода как «образцовое вещество» для тепловых измерений использовалась в конце XVIII в. Так, теплоемкости, определенные для некоторых веществ Лапласом и Лавуазье, были даны по отношению к теплоемкости воды, принятой за единицу. При этом их числа показывали, «сколько фунт, каждого из упомянутых тел, нагретой до 75° степенного термометра, охлаждаясь до 0°, может испускаемым из себя теплотвором растопить льду. Фунт воды, в сем случае, растопляет фунт льда и сия-то мера принята выше за единицу» (Щеглов, 1830, стр. 65). Историк теплотехники И. Я. Конфедератов, говоря об исследовании Уаттом процесса парообразования (1764—1767 и 1773—1774 гг.), замечает, что в то время единицы измерения количества тепла — калории — еще не существовало (Конфедератов, 1969, стр. 107). Другой историк теплотехники, А. А. Радциг, касаясь истории тепловых исследований в первой трети XIX в., пишет, что «единица тепла — калория — была установлена уже давно (по отношению к рассматриваемому им времени. — И. Ф.), хотя и без той точности, которая принята в современных определениях калории» (Радциг, 1936, стр. 176).

Я. М. Гельфер в книге «История и методология термодинамики и статистической физики» (М., 1969) пишет, что предложение принять за единицу измерения тепла удельную теплоемкость воды принадлежит современнику Блэка Р. Кирвану, а наименование этой единицы «калория» было введено значительно позже, в 1852 г., по предложению Фавра и Зильбермана (стр. 37). Что касается термина «калория», то, возможно, он действительно введен Фавром и Зильберманом, которые в своей статье «Исследования о количествах теплоты, выделенных при химических и молекулярных действиях» (Annales de chimie de physique, 3<sup>me</sup> série, t. XXXIV, mars 1852) писали, что они, как и все физики, принимают в качестве единицы тепла то его количество, которое нагревает 1 грамм воды на 1 градус, «и которая называется единицей тепла или калорией (calorie)» (стр. 385).

# ИЗУЧЕНИЕ ВОДЫ КАК ХИМИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ

## СОСТАВ ВОДЫ

Мы видели, что в опытах Кавендиша для образования воды требовалось соединение 423 объемов водорода и примерно 200 объемов кислорода. По данным опытов Монжа и Лавуазье, это объемное отношение составляло 23 к 12. У Фуркруа, Воклена и Сегена на 205,2 части водорода приходилось 100 частей кислорода (Ладенбург, 1917, стр. 54). Иначе говоря, согласно указанным опытам, образование воды происходило при отношении объемов кислорода и водорода примерно как 1 : 2. Что касается весовых отношений, то, как указывалось, из опытов Лавуазье и Менье следовало, что на образование воды требовалось от 14 до 19,5% кислорода от его общего веса с водородом.

Предстояло выяснить, каковы же точные объемные и весовые отношения между кислородом и водородом, образующими воду, и всегда ли они одинаковы. Разумеется, подобные вопросы относились не только к воде, но и ко всем химическим соединениям. История химии показывает, что правильные ответы на эти вопросы могли быть получены только исходя из атомистических представлений о строении материи.

Представление о дискретности материи, высказанное и оформленное уже в определенную натурфилософскую систему еще атомистами древности — Левкиппом (приблизительно 500—440 гг. до н. э.), Демокритом (460—370 гг. до н. э.), Эпикуром (341—270 гг. до н. э.), нашло своих приверженцев и продолжало развиваться в эпоху Возрождения и в последующее время в трудах многих ученых. Венцом развития атомно-молекулярной теории в химии явились созданные в 1860-х годах периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева (1834—1907 гг.) и теория химического строения А. М. Бутлерова (1828—1886 гг.). «Химики XVIII века, — пишет А. Ладенбург, — в общем, кажется, относились довольно благосклонно к атомистическим воззрениям» (Ладенбург, 1917, стр. 50), а в конце XVIII — начале XIX в., по словам Дж. Дальтона, «возможность существования различных агрегатных состояний тел привела к почти общепринятому предположению, что все тела состоят из бесконечного числа мельчайших частиц, проявляющих то более сильную, то более слабую силу взаимного притяжения, называемую сцеплением. Эти атомы постоянно окружены тепловой атмосферой, которая своей отталкивающей силой препятствует соприкосновению частиц» (см. Ладенбург, 1917). Следует сказать, что химики и физики, особенно после открытия в 1757 г. Дж. Блэком скрытой теплоты парообразования, теплоту считали некой тончайшей материальной невесомой субстанцией (названия: огненная материя, калорик, теплород, теплотвор). Именно тем, что мельчайшие частицы, окруженные теплородом, не соприкасаются друг с другом, объясняли сокращение объема веществ при их охлаждении, т. е. считали, что это сокращение происходит за счет выжимания теплоты из промежутков между частицами.

Применение атомистики к рассмотрению химических явлений принадлежит прежде всего Дальтону, хотя он и имел нескольких предшественников. Восприняв от Ньютона взгляд на атом как на неделимую частицу, Дальтон для того, чтобы применить атомистическую теорию к химии, должен был сформулировать ряд принципов, касающихся как самого атома, так и взаимных отношений атомов различных элементов. Его химическая атомистика, сложившаяся в основных чертах к 1804 г., может быть выражена несколькими положениями.

1. Материя состоит из твердых неделимых и неразрушимых атомов, окруженных «неуловимым флюидом» теплоты, причем «какие бы очертания или форму ни имел твердый атом отдельно, будучи окружен атмо-



ферой, он должен быть шарообразным» (Дальтон, 1940, стр. 44). Объем атмосферы упругих флюидов (газов) в 1—2 тыс. раз превышает объем частицы в жидком или твердом состоянии.

2. Все атомы каждого газа имеют одинаковую величину, но «нет таких двух разных флюидов, которые совпадали бы по величине своих частиц при одинаковых температуре и давлении» (там же, стр. 58). Следовательно, одинаковые объемы различных газов содержат различное число атомов. Сославшись на образование водяного пара из двух объемов водорода и одного объема кислорода, как это было точно установлено в 1805 г. совместными опытами Ж. Л. Гей-Люссака (1778—1850 гг.) и А. Гумбольдта (1769—1859 гг.), Дальтон говорит о вероятности того, что «в двух объемах водорода имеется то же количество частиц, что и одном объеме кислорода» (там же, стр. 54).

3. Но если атомы различных веществ различны по величине, то, значит, они различны и по весу.

4. Частицы подвержены действию двух противоположных, имеющих всеобщий характер сил — силы притяжения и силы отталкивания. Последняя сила связана с действием тепла, которое, постоянно окружая атомы всех тел, «не дает им притянуться до фактического соприкосновения» (там же, стр. 43). Но при этом «атомы одного рода не отталкивают атомов другого рода, а только атомы того же рода» (там же, стр. 142).

В жидкостях, например в воде, говорит Дальтон, «силы притяжения и отталкивания действуют чрезмерно мощным образом, но в приблизительно равной степени» (там же, стр. 46).

5. Атомы разных видов вступают в соединения между собой по закону простых кратных отношений.

Следует еще добавить, что вместе с законом простых кратных отношений действует закон постоянства состава химических соединений, установленный французским химиком Ж. Л. Прустом (1754—1826 гг.), согласно которому всякое данное соединение всегда имеет один и тот же состав образующих его атомов.

Руководствуясь законом кратных отношений, Дальтон впервые вычисляет атомные веса ряда элементов. Но для того, чтобы вычислить относительные веса входящих в соединение частиц, необходимо знать определенные правила, позволяющие определять, сколькими частицами тот и другой элемент участвует в соединении. И в решении этой задачи Дальтон пользуется ошибочным «законом простоты». Так, в соответствии с этим законом он считал, что если известно только одно соединение двух элементов, то оно должно содержать по одному атому каждого элемента. В качестве первого примера, «подтверждающего» это правило, он приводит воду, известное в то время единственное соединение кислорода и водорода (перекись водорода была открыта только в 1818 г.). По отношению весов соединяющихся газов и принимая атомный вес водорода за единицу, Дальтон определяет атомный вес кислорода равным 7. Дальтон впервые ввел знаки для изображения химических элементов. Так, водород имел знак  $\odot$ , а кислород  $\circ$ , и вода обозначалась как  $\odot\circ$  (кружок с точкой и просто кружок). Таким образом, согласно Дальтону, вода образуется из соединения одного атома водорода с одним атомом кислорода, но так как при этом требуются два объема водорода и один объем кислорода, то отсюда следует, что в каждом объеме водорода имеется в 2 раза меньше частиц, чем в равном объеме кислорода.

То, что для образования воды требуется один объем кислорода и два объема водорода, впервые было установлено совместными опытами А. Гумбольдта и Ж. Гей-Люссака, о чем они сообщили в начале 1805 г. Продолжая заниматься определением объемных отношений других газов, образующих химические соединения, Гей-Люссак на основании своих опытов и опытов других химиков пришел в 1808 г. к заключению о простых

объемных отношениях газов, вступающих в химические соединения. В мемуаре, опубликованном в 1809 г., Гей-Люссак писал: «1. Взаимодействие газообразных веществ происходит всегда в наиболее простых отношениях, так что с одним объемом газообразного вещества всегда соединяется такой же объем, либо двойной или самое большее тройной объем другого газообразного вещества. 2. Видимое сгущение, которое испытывают газы вследствие взаимного соединения, находится также в простых отношениях к объему каждого из них» (см. Фаерштейн, 1964, стр. 30).

Таким образом, атомистическая теория кроме закона Дальтона о весовых отношениях еще более ясно и убедительно подкреплялась законом Гей-Люссака об объемных отношениях. Но именно Дальтон, основоположник атомистической химии, встретил открытие Гей-Люссака отрицательно и даже высказал сомнение в точности результатов проведенных им опытов. Так, например, об отношении объемов водорода и кислорода при образовании воды он писал, что самые точные измерения, которые он когда-либо производил, дали отношение не 2 к 1, а 1,97 к 1.

Спрашивается, почему открытие Гей-Люссака встретило у Дальтона отрицательную реакцию? Дело в том, что оно вступало в противоречие с некоторыми положениями атомистики Дальтона. Представление Гей-Люссака об объемах, писал Дальтон, могло бы считаться правильным, если бы в одинаковых объемах всех газов содержалось равное число атомов, т. е. частицы различных газов были бы равной величины. Но такая гипотеза, продолжал Дальтон, сначала казавшаяся ему правильной, была им отброшена, поскольку опыт показывает, что, например, при соединении двух объемов водорода и одного объема кислорода получается не один объем водяного пара, как должно бы быть при равенстве частиц в равных объемах, а два объема. Объяснить это можно только тем, полагал Дальтон, что в двух объемах водорода содержится столько же частиц, как и в одном объеме кислорода (напомним, что элементарную частицу воды Дальтон представлял как соединение одного атома водорода с одним атомом кислорода). Объяснение двойного объема соединения по отношению к объему кислорода расщеплением последнего в ходе реакции на две части не могло быть допущено, поскольку оно противоречило бы принципу неделимости атомов.

Таким образом, закон Гей-Люссака находился в явном противоречии с представлением о том, что частицы различных газов различны по величине или находятся друг от друга на различных расстояниях, а из второй его части столь же явно следовало, что деление частиц при химическом соединении газов все же происходит.

Именно эти два положения явились основанием появившейся в 1811 г. гипотезы итальянского ученого А. Авогадро, разрешившего возникшие противоречия между законами весовых и объемных отношений.

Гипотеза Авогадро основана на двух постулатах.

1. Давая теоретическое объяснение заключений Гей-Люссака, Авогадро формулирует закон объемов. Он считает единственно приемлемым предположение, что «число интегральных молекул всегда одно и то же в одинаковых объемах любых газов или всегда пропорционально объемам» (см. Быков, 1970, стр. 28) при одинаковых давлениях и температурах.

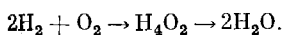
Заметим, что по терминологии Авогадро интегральные молекулы — это молекулы в современном понимании, состоящие из элементарных молекул, т. е. из атомов.

2. Объясняя, почему при соединении одного объема кислорода с двумя объемами водорода получаются два объема водяного пара, Авогадро выдвигает другое фундаментальное предположение, согласно которому «молекулы, составляющие какой-нибудь простой газ ... образованы не из единичной элементарной молекулы, а из некоторого числа таких молекул, объединенных в одну благодаря притяжению» (см. там же, стр. 30).

Таким образом, Авогадро, вопреки мнению Дальтона, высказал убеждение в том, что и атомы одного и того же простого газа могут притягиваться друг к другу и образовывать молекулы, способные к делению при химических реакциях. Позже такие молекулы были названы Ж. Дюма физическими атомами (см. Быков, Крицман, 1972, стр. 123).

В соответствии со своей гипотезой Авогадро писал, что «интегральная молекула воды будет состоять из полумолекулы кислорода и молекулы, или, что то же самое, двух полумолекул, водорода» (Быков, 1970, стр. 30).

В современном изображении реакция образования воды, согласно Авогадро, должна идти по схеме



Закон объемных отношений и теория Авогадро давали простой метод определения атомных и молекулярных весов по отношению плотностей газов. «Например, числа 1,10359 и 0,07321,— писал Авогадро,— выражают плотность кислорода и водорода, если принять плотность воздуха равной единице; отношение же этих двух чисел показывает, следовательно, отношение между массами двух равных объемов данных газов; это же самое отношение выразит, согласно предложенной гипотезе, отношение масс их молекул. Так, масса молекулы кислорода будет приблизительно в 15 раз больше массы молекулы водорода» (см. Фаерштейн, 1961, стр. 39). Исходя из указанных весов кислорода и водорода и имея в виду деление на двое первоначально образующейся молекулы воды, Авогадро определяет молекулярный вес воды числом  $8,5 \left( \frac{5+2}{2} \right)$  или, точнее, 8,537. Заме-

тим, что такая масса молекулы воды соответствует массам кислорода и водорода (15 и 1), принятым Авогадро для их молекулярного состояния, тогда как молекулярный вес воды, определяемый ныне числом 18,016, соответствует весам кислорода и водорода (16 и 1,08) в их атомном состоянии.

А. Ампер, высказавший в 1814 г. взгляды, весьма близкие к взглядам Авогадро, принимал частицы кислорода и водорода состоящими из четырех атомов и считал, что вода состоит из частицы водорода и частицы кислорода ( $\text{H}_4\text{O}_2$ ). Однако гипотеза Авогадро—Ампера еще долго, более четырех десятков лет, не получала должного признания. Так, известный шведский химик И. Берцелиус, под сильным влиянием которого шло развитие химии в 1810—1830-х годах, признавая закон объемов, отвергал понятие молекулы простых газов.

Берцелиус, как известно, ввел в 1814 г. применяемые и ныне буквенные символы обозначения элементов. Этими символами в соответствии с законом объемных отношений Берцелиус формулы молекулы воды писал как  $\text{H}_2\text{O}$  или  $\text{HO}$ . Не признавая молекулы водорода  $\text{H}_2$ , но имея в виду стремление водорода соединяться с другими элементами преимущественно двумя атомами, Берцелиус ввел понятие двойного атома и обозначал его знаком  $\text{H}$  (буквой  $\text{H}$ , перечеркнутой на одной трети высоты снизу).

Было бы излишне здесь останавливаться на атомно-молекулярных представлениях других химиков и физиков того времени, достаточно сказать, что единства взглядов не было по многим коренным вопросам химической теории. «В 50-х годах,— писал Д. И. Менделеев,— одни принимали  $\text{O} = 8$ , другие  $\text{O} = 16$ , если  $\text{H} = 1$ . Вода для первых была  $\text{HO}$ , перекись водорода  $\text{HO}_2$ , для вторых, как ныне, вода  $\text{H}_2\text{O}$ , перекись водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$  или  $\text{HO}$ . Смута, сбивчивость господствовали». Возникла неотложная необходимость согласования взглядов на основе определенной химической теории. Для этой цели в 1860 г. в Карлсруэ состоялся международный конгресс химиков, имевший большое значение для дальнейшего развития атомно-молекулярной теории, идеи которой были заложены Авогадро и

плодотворность которых была убедительно доказана трудами ряда химиков и физиков в 40—50-х годах, особенно же трудами С. Канниццаро.

С. Канниццаро принимает следующие веса атомов и молекул, участвующих в образовании воды:  $H = 1$ ,  $H^2 = 2$ ,  $O = 16$ ,  $O^2 = 32$ , откуда молекулярный вес воды сравнительно с атомным весом водорода получается равным 18. Весовое отношение водорода и кислорода в воде приблизительно как 2 : 16 было установлено в течение XIX в. различными методами многими исследователями.

В заключение раздела об изучении состава воды как химического соединения остановимся на вопросе об изотопном составе воды.

Историк химии отметил, как в начале 1930-х годов химическая мысль «была потрясена» открытием и получением тяжелого водорода и тяжелой воды (Фрицман, 1935, стр. 108), а В. И. Вернадский тогда же писал, что это «величайшее открытие в истории воды... может быть поставлено наряду с открытием ее химического состава в 1781—1783 гг.» (Вернадский, IV, 1960, стр. 273).

Английским физиком Ф. Астоном (1877—1945 гг.) было установлено, что кислород представляет собой смесь изотопов. В 1931 г. немецкий физик Р. Мекке точными измерениями установил, что действительное содержание изотопа кислорода  $O^{18}$  в отношении к изотопу  $O^{16}$  значительно больше, чем считалось.

Возникла необходимость пересчета атомных весов, поскольку с 1906 г. атомные веса элементов относились к весу кислорода. При этом обнаружилось, что между атомными весами водорода, определенными спектрографическим и химическим методами, существует большая разница, которая могла быть объяснена, как предположили американские физики Р. Бёрдж и Д. Менцель, только существованием изотопа водорода с массой 2 и в количестве один атом  $H^2$  на 4500 атомов  $H^1$ . Г. Юри, Ф. Бриквед и Г. Мэрфи, впервые в 1932 г. получившие водород  $H^2$ , или дейтерий (D), с атомным весом  $2,01341 \pm 0,00018$ , установили его концентрацию как 1 : 4500. Тогда же Э. Уошбёрн и Г. Юри заметили изменение физических констант воды в связи с различным содержанием в ней изотопов водорода. Для воды с плотностью 1,0014 они определили температуру замерзания  $1,05^\circ$ , температуру кипения  $100,02^\circ$ . Впервые практически чистая тяжелая вода (с содержанием всего 0,01% обычной воды) в количестве 0,12 мл была получена в 1933 г. американскими учеными Г. Льюисом и Р. Макдональдом. По их определениям константы тяжелой воды оказались равными: плотность 1,1056, температура замерзания  $+3,8^\circ C$ , температура кипения при нормальном давлении  $101,42^\circ C$ .

В 1934 г. был открыт третий изотоп водорода —  $H^3$ , тритий (T).

В связи с существованием трех изотопов водорода ( $H^1$ ,  $H^2$ ,  $H^3$ ) и шести изотопов кислорода (от  $O^{14}$  до  $O^{19}$ ), из которых изотопы  $O^{14}$ ,  $O^{15}$  и  $O^{19}$  не встречаются в воде в заметных количествах, природная вода рассматривается как смесь различных модификаций соединения водорода с кислородом с процентным участием каждой модификации, согласно табл. 1 (Дитрих, 1962, стр. 46).

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ВОДЫ

Дж. Дальтону, по-видимому, первому принадлежит попытка объяснения одной из аномалий воды — расширения объема воды при переходе ее из жидкой фазы в твердую. Он объяснял это явление различным пространственным расположением молекул в воде и во льду. Слои воды в элементарном объеме Дальтон представляет расположенными в квадратах (рис. 1, 1), а слои льда — в ромбах (рис. 1, 2). В первом случае, соответствующем состоянию наибольшей плотности, частицы следующего по высоте слоя заполняют промежутки нижележащего слоя (рис. 1, 3), а во втором случае, поскольку промежутки в слоях меньше, частицы

Таблица 1. Изотопный состав природной воды

Молекулы воды	% от всей воды	% от тяжелой воды	Соответствие содержанию в морской воде	Молекулы воды	% от всей воды	% от тяжелой воды	Соответствие содержанию в морской воде
$\text{H}_2^1\text{O}^{16}$	93,73	—	—	$\text{H}^1\text{H}^2\text{O}^{17}$	0,00001	0,003	A
$\text{H}_2^1\text{O}^{18}$	0,20	73,5	Mg	$\text{H}_2^2\text{O}^{16}$	0,000003	0,001	P
$\text{H}_2^1\text{O}^{17}$	0,04	14,7	Ca	$\text{H}_2^1\text{O}^{18}$	0,000000006	0,000002	Hg
$\text{H}^1\text{H}^2\text{O}^{16}$	0,032	11,8	K	$\text{H}_2^2\text{O}^{17}$	0,000000001	0,0000003	Au
$\text{H}^1\text{H}^2\text{O}^{18}$	0,00006	0,022	N				

не могут углубляться в нижний слой и должны ложиться выше (рис. 1—4). По подсчетам Дальтона, в первом случае в одном и том же объеме частиц будет на 6% больше, чем во втором. Но поскольку льдом задерживается при замерзании 2% воздуха, то и оказывается, что удельный вес льда составляет 92% удельного веса воды. Не следует слишком подчеркивать неправдоподобие этого объяснения: в свое время, при незнании действительного строения воды и льда, оно, очевидно, казалось правдоподобным.

Стремление химиков и физиков выяснить причины некоторых аномалий воды уже в самом начале XIX в. приводит к мысли о сложной физической природе воды. Так, французский химик А. Фуркруа в своей книге «Система химических знаний» (1801 г.) высказывает, хотя и не очень ясно, предположение, что вода представляет собой смесь частиц трех ее фазовых состояний.

Возникновение в 1830—1831 гг. понятия полимерии в органической химии способствовало развитию взгляда о полимерности молекул воды. К концу XIX в. появляются теории, в которых делаются попытки объяснить физические свойства воды, ее аномалии представлением о воде как о растворе льда, как о смеси гидроля  $\text{H}_2\text{O}$  и льдоподобных молекул различной степени ассоциированности —  $(\text{H}_2\text{O})_2$ ,  $(\text{H}_2\text{O})_3$  и т. д. Поскольку строение кристаллической решетки льда еще не было известно, в формуле льдоподобной молекулы  $(\text{H}_2\text{O})_n$  числу  $n$  приписывались разными исследователями различные значения. В работе «Теория сцепления» (1884 г.) американский ученый Г. Уайтинг принимал, что в таком льде твердые (ледяные) частицы составляют 50—75%, в замерзающей воде — около 50%, в кипящей — около 33%. Годом позже датский химик Ю. Томсен высказал мнение, что молекулы воды в 2 раза тяжелее молекул водяного пара. О комплексных водных молекулах писал в 1891 г. Г. Вернон, считая, что они представляют собой тетрагидроли  $(\text{H}_2\text{O})_4$ , в то время как формула простейших водных молекул  $(\text{H}_2\text{O})_2$ . Вернон указал на необычайно высокую температуру кипения воды, которая, по аналогии с подобными ей по молекулярной структуре соединениями водорода  $\text{H}_2\text{Te}$ ,  $\text{H}_2\text{Se}$  и  $\text{H}_2\text{S}$ , должна бы быть на  $180^\circ$  ниже действительной, т. е. вода должна бы кипеть при  $-80^\circ$ . Из рис. 2 видно, что и замерзание воды происходит при ненормально высокой температуре. Объяснение этих аномалий усматривалось в явлении ассоциированности молекул.

Э. Рентген, развивая в работе 1892 г. представление о воде как о насыщенном растворе молекул льда  $(\text{H}_2\text{O})_n$  в гидроле, концентрация которого (раствора) повышается с понижением температуры, в связи с составом воды рассматривал зависимость физических свойств воды от температуры и давления. Достижение водой наибольшей плотности при нагревании от 0 до  $4^\circ$  выводилось им как результат противоборства двух процессов: структурного уплотнения и теплового расширения воды.

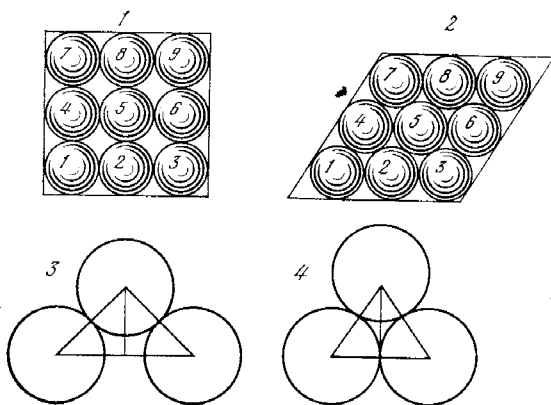


Рис. 1. Структура воды, по Дж. Дальтону

Выяснению строения воды на молекулярном уровне, представляемого в виде совокупности агрегатных (льдоподобных) и мономерных («истинно жидких») частиц, были посвящены также работы В. Рамзая и Д. Шильдса (1893 г.), В. Сезерленда (1900 г.), Г. Армстронга (1908 г.), Ж. Дюкло (1912 г.), Г. Таммана (1913 г.) и ряда других исследователей. В работах первых трех авторов делается попытка количественного определения соотношения молекул разного рода. Так, Сезерленд, рассматривавший воду как бинарную смесь ди- и тригидролей, нашел, что при  $0^\circ$  она содержит 37,5%, при  $20^\circ$  — 32,1%, при  $100^\circ$  — 21,7% тригидрольных молекул и что только при критической температуре (по определениям того времени — около  $370^\circ$ ) вода состоит из чистого дигидроля. Важной особенностью теории Г. Армстронга было то, что в ней одновременно рассматривались химия воды и химия растворов. По его мнению, вода является равновесием  $(\text{H}_2\text{O})_n \rightleftharpoons n\text{H}_2\text{O}$ , которое растворимым веществом нарушается в сторону  $(\text{H}_2\text{O})_n \rightarrow n\text{H}_2\text{O}$ . Молекулы  $\text{H}_2\text{O}$  он называет гидронами, способными образовывать различные полимеры, но вода состоит преимущественно из гидронов, количество которых повышается с возрастанием температуры.

Согласно Дюкло, лед и вода состоят из сильно полимеризованных молекул, причем для льда  $n$  равно от 6 до 12, вероятнее всего 9. Такое значение  $n$  он выводит из определения молекулярного веса льда (ледовых ассоциатов)  $M$ , исходя в своих расчетах, с одной стороны, из изменения расширения воды в зависимости от давления, а с другой — из изменения сжатия воды в зависимости от температуры. Расчеты показывают, что  $M > 164$ , но  $< 218$ , т. е. молекулярный вес льда определяется величиной, промежуточной между  $M = 162$ , соответствующей формуле  $(\text{H}_2\text{O})_9$ , и  $M = 216$ , соответствующей формуле  $(\text{H}_2\text{O})_{12}$ . Расчет Таммана приводит его к заключению, что степень полимеризации воды  $n$  не меньше 6 и что вода представляет собой равновесную систему шести полимеров  $\text{H}_2\text{O}$ . В 1926 г. Тамман пришел к тому же заключению, что и Дюкло в 1912 г., а именно, что молекулы растворенного в воде обыкновенного льда имеют формулу  $(\text{H}_2\text{O})_9$ , причем концентрация их составляет 22% (у Дюкло 20%).

В заключение рассмотрения гидрольных теорий воды укажем еще на появившуюся в 1933 г. работу индийского физика Р. Рао, в которой он, исходя из анализа рамановых полос в спектре воды, рассматривает ее как смесь моно-, ди- и тригидролей с процентными соотношениями при различных температурах согласно табл. 2. Максимум плотности воды при  $4^\circ$  объясняется наибольшим числом дигидролей, более компактных, чем тригидроли.

Из числа структурных моделей молекулы воды («первичной водяной капли») назовем модели Р. Рейнике (1930 г.) и К. Беллинга (1931 г.), представляющие собой, в соответствии с гексагональной системой кристаллов льда, кольца, в которых шесть гидролей объединяются в  $(\text{H}_2\text{O})_6$ .

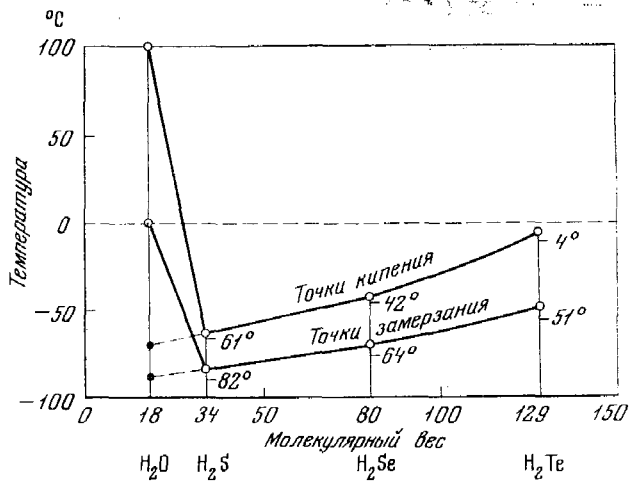


Рис. 2. Точки кипения и замораживания воды в сравнении с другими соединениями водорода

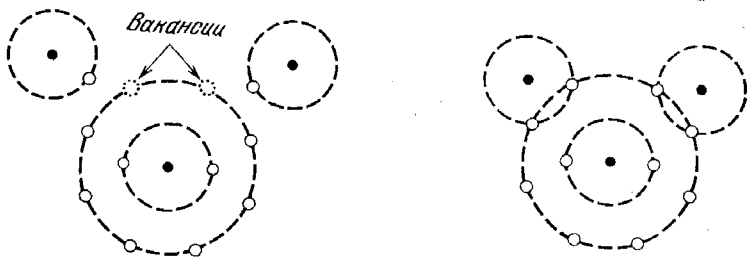
Но в те же годы на смену гидрольным появились принципиально новые теории воды, исходящие из представления о существовании в воде ближнего порядка в расположении ее молекул. Наиболее разработанной из них, полнее других учитывающей накопившиеся к тому времени теоретические и экспериментальные данные о воде, явилась опубликованная в 1933 г. в Англии, а в 1934 г. и в СССР стереоструктурная теория английских физиков Дж. Бернала и Р. Фаулера. Но раньше, чем говорить о теории Бернала и Фаулера, отметим некоторые важные успехи в изучении строения вещества, давшие возможность более глубоко проникнуть и в структуру воды.

Первые десятилетия XX в. ознаменовались созданием учения о сложной структуре атома, признанием того, что он состоит из положительно заряженного протонного ядра, окруженного электронами, несущими отрицательные заряды, причем в нейтральном атоме число электронов в оболочке точно соответствует числу протонов. Электроны движутся вокруг ядра на определенных уровнях по различным орбитам, образуя сферические облака, при этом число оболочек электронного облака и число электронов в каждой оболочке для атома каждого элемента строго определено. Так, в атоме водорода имеется лишь одна оболочка с единственным электроном, а в атоме кислорода — две оболочка: внутренняя с двумя электронами и внешняя с шестью электронами. Наибольшую устойчивость электронной структуры имеют элементы с 2, 10, 18, 36, 54 и 86 электронами, так называемые инертные газы (гелий, неон, аргон, криптон, ксенон, радон).

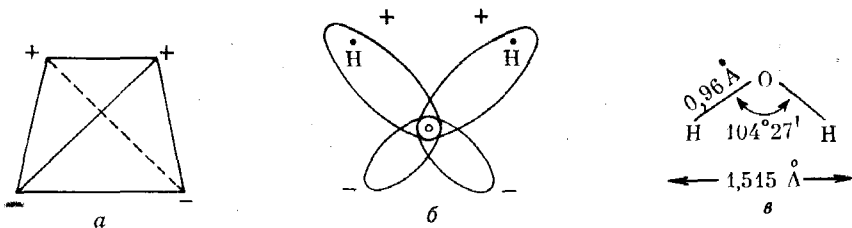
В 1912—1916 гг. американским физиком Г. Льюисом и немецким физиком В. Косселем была создана теория электронной валентности атомов, объяснившая природу и механизм химической связи. Согласно этой

Таблица 2. Доли ассоциатов в воде при различных температурах (по Р. Рао, 1933)

Тип молекул	Лед	Вода			
		0°	4°	38°	98°
H <sub>2</sub> O	0	19	20	29	36
(H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	41	58	59	50	51
(H <sub>2</sub> O) <sub>3</sub>	59	23	21	21	13



Р и с. 3. Схема образования молекулы воды



Р и с. 4. Распределение зарядов (а), электронные орбиты (б) в молекуле воды и геометрия молекулы воды в парообразном состоянии (в)

теории, сущность химического соединения друг с другом атомов элементов состоит в их стремлении к устойчивым электронным оболочкам, причем наиболее активное участие в образовании химических связей принимают электроны внешних оболочек. Устойчивость электронной конфигурации может достигаться двумя способами: 1) отдачей или приобретением одного электрона — в этом случае образуется так называемая ионная связь; 2) парным соединением электронов, т. е. взаимным обменом ими, при котором они занимают вакантные места на внешних орбитах соединяющихся атомов, — в этом случае образуется так называемая ковалентная связь, гораздо более сильная, чем ионная. В случае образования молекулы воды  $\text{H}_2\text{O}$  имеет место ковалентная связь (рис. 3).

По причине несимметричного распределения положительного и отрицательного зарядов молекула воды приобретает полярный характер, т. е. относится к числу диполей, с чем связано и ее треугольное строение, доказанное теоретически и экспериментально. Как установлено Р. Милликенем в 1932 г., образующиеся в молекуле воды два полюса с положительно заряженными ядрами атомов водорода и два полюса отрицательно заряженных двух необобществленных пар электронов атома кислорода располагаются по вершинам тетраэдра (рис. 4,а). Три ядра молекулы воды окружены десятью электронами, движущимися попарно по вытянутым орбитам (два электрона — вблизи ядра кислорода) (рис. 4,б). Геометрия молекулы воды, установленная еще в 20—30-х годах и все время уточняемая, представляется в таком виде (рис. 4,в). Указанные на этом рисунке межатомные расстояния газовых молекул в молекулах льда увеличиваются до значений: ОН близко к 0,99 Å, Н—Н—1,62 Å, а угол НОН составляет 109,5°.

Молекула воды, хотя в целом электрически нейтральна, как и всякая полярная молекула, обладает постоянным электрическим моментом, причем наиболее значительным в сравнении с дипольными молекулами других жидкостей. В 1919 г. М. Иона нашел величину его равной 1,87 дебая (дебай =  $10^{18}$  э.—с. ед. см) (Дебай, 1931, стр. 104).

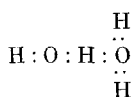
Благодаря наличию у молекул воды большого дипольного момента, они в электрическом поле ориентируются в определенном направлении, вследствие чего вода обладает также наибольшей у жидкостей диэлектрической постоянной, или диэлектрической проницаемостью, равной при



комнатной температуре около  $80^\circ$  по сравнению с диэлектрической постоянной вакуума, принимаемой за единицу, из чего следует, что в воде взаимное притяжение или отталкивание двух заряженных частиц происходит с силой, составляющей  $1/80$  той силы, с которой притягивание и отталкивание между ними происходит в вакууме.

Немецкий физик Ф. Ауэрбах в книге «Семь аномалий воды» (Ауэрбах, 1919) в числе других аномалий называет и ненормально высокую диэлектрическую постоянную воды. Высокая растворительная способность воды в значительной мере связана с наличием у нее необычайно большой диэлектрической постоянной.

Выдающимся событием в области физики явилось открытие в 1895 г. В. Рентгеном (1845—1923 гг.) X-лучей с длиной волны  $0,06—20 \text{ \AA}$ . Одним из важнейших результатов исследования рентгеновских лучей было обнаружение М. Лауэ (1879—1960 гг.) и его сотрудниками в 1912 г. дифракции их кристаллической решеткой, что привело вскоре к созданию рентгеноструктурного анализа, позволяющего определять не только в кристаллах, но и в жидкостях взаимное расположение атомов. Естественно, рентгеновский анализ был применен к исследованию кристаллов льда. Начиная с 1917 г. рядом исследователей были получены рентгенограммы кристаллической решетки льда. Особенно ценные результаты дали исследования Д. Деннисона (1921 г.), В. Брэгга (1922 г.), В. Барнеса (1929 г.). Брэгг нашел, что в кристалле льда каждый атом кислорода окружен четырьмя атомами водорода, а каждый атом водорода находится между двумя атомами кислорода, т. е. в кристалле льда каждая молекула воды использует свои четыре вспомогательные связи (см. Фрицман, 1935, стр. 68). Но что такое «вспомогательная связь»? Это связь, которая ныне называется водородной. На проявление этой связи было впервые указано русскими химиками Н. Н. Бекетовым в 1877 г. и М. А. Ильинским в 1887 г. Затем о ней под разными названиями писали многие химики. Представление о сущности этой связи ввели в литературу американские химики Латимер и Родебуш. Они писали в 1920 г.: «Согласно терминологии Льюиса свободная пара электронов одной молекулы воды оказывает с достаточной силой влияние на водород, удерживаемый парой электронов другой молекулы воды, чтобы связать две молекулы вместе. Структурно это можно себе представить следующим образом:



Такая комбинация может не ограничиваться двумя или тремя молекулами. В действительности жидкость может состоять из больших агрегатов молекул, непрерывно ломающихся и изменяющихся под влиянием теплового движения. Приведенное объяснение равносильно высказыванию, что водородное ядро, удерживаясь между двумя октетами, образует слабую «связь»... Если наше представление об ассоциации воды правильно, то это значит, что водородное ядро может удерживаться между двумя кислородными октетами силами, подчиняющимися закону Гука, т. к. «расстояние для этого подходяще» (см. Батуев, 1941). Водородная связь потому и имеет это название, что она присуща только водороду, атом которого может соединять два атома, входящих в состав разных молекул или одной и той же молекулы. Водородная связь возникает главным образом между атомом водорода и атомами наиболее электроотрицательных элементов, к которым в первую очередь относятся кислород, азот, фтор, хлор и некоторые другие элементы. В воде, следовательно, водородная связь должна проявляться в наибольшей степени. Водородная связь — связь упорядочивающая. Эта упорядоченность и была констатирована в рентгенографических исследованиях воды, проведенных в 1930—1931 гг. Г. Мейером, Г. Стюартом и Э. Амальди в интервале температур от  $2$  до  $98^\circ$ .

Водородная связь — причина многих аномальных свойств воды.

Что касается энергии водородной связи, то, согласно экспериментам, она равна 3—10 ккал/моль и в сравнении с вандерваальсовыми силами и силами химической (ковалентной) связи занимает промежуточное положение, определяемое приближенно соотношением 1:10:100 (Химия, 1971).

Ко времени создания Берналом и Фаулером их теории воды необычность многих ее свойств заставляла предполагать наличие у воды определенной структурной упорядоченности, причиной которой является водородная связь. В самом деле, как уже говорилось, вода имеет ненормально высокие температуры кипения и замерзания. При замерзании ее плотность вместо того, чтобы увеличиваться, уменьшается, имея максимальное значение при 4°C. При плавлении льда теплоемкость воды скачкообразно увеличивается более чем в 2 раза — с 0,49 до 1,009 кал/г. Скрытые теплоты плавления льда и испарения воды также аномальны. Диэлектрическая постоянная воды ненормально высока. При обычных температурах вода — жидкость, тогда как все гидриды элементов, близких к кислороду в периодической системе ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{PH}_3$ ,  $\text{SH}_2$  и  $\text{HCl}$ ), вещества газообразные.

Чистая вода — очень плохой проводник электричества, поскольку ее молекулы чрезвычайно слабо распадаются на ионы: из одного миллиарда молекул диссоциации подвергаются всего одна-две молекулы. Но изучение ионов воды показало ненормально высокую степень их подвижности (иона  $\text{H}^+$  —  $32,5 \cdot 10^{-4}$  см/сек и иона  $\text{OH}^-$  —  $17,8 \cdot 10^{-4}$  см/сек).

Гидрольные теории не могли дать удовлетворительное объяснение причин наличия у воды указанных и других аномальных физических свойств.

При построении своей теории Бернал и Фаулер принимают треугольную форму молекулы воды с радиусом, равным 1,38 Å, т. е. равным половине расстояния между ближайшими молекулами во льду, определенно В. Барнесом в 1929 г. в 2,76 Å. Далее, они считают, что в воде, как и во льду, имеет место четверная координация молекул, т. е. каждая молекула благодаря водородной связи окружена четырьмя другими молекулами, составляя с ними индивидуальную ячейку из пяти молекул; но дальний порядок, имеющийся во льду, в воде отсутствует. Предположение, что вода не является жидкостью с плотной упаковкой частиц, например типа ртути, во-первых, подтверждается рентгенографически, во-вторых, тем, что, если бы вода имела структуру плотной упаковки, ее плотность равнялась бы не единице, а  $1,84$  г/см<sup>3</sup>. Анализируя кривые рассеяния рентгеновских лучей водой и другими веществами, Бернал и Фаулер установили большое сходство кривых рассеяния воды и тридимита (одной из трех модификаций кристаллического кремнезема) и пришли к выводу, что во льду и в воде четверная координация осуществляется подобно таковой в тридимите, т. е. четыре молекулы, окружающие пятую, расположены по вершинам тетраэдра (рис. 5). Однако такую форму координации они допускают только для температур ниже 4°, поскольку полагают, что значительное уменьшение объема воды от точки таяния до 4° не может быть объяснено разупорядочением структуры льда, которое, по их мнению, должно вести не к уменьшению, а к увеличению объема. Как замечает О. Я. Самойлов, «такое утверждение, вообще говоря, неверно» (Самойлов, 1957, стр. 44). Но Бернал и Фаулер считают необходимым предположить, что от точки таяния структура воды преобразуется в другую модификацию кристаллического кремнезема — структуру кварца, являющуюся преобладающей в интервале температур от 0 до 220°. Структура кварца отличается от структуры льда-тридимита тем, что в ней при расстоянии между ближайшими молекулами 2,76 Å расстояние между данной молекулой и молекулами второй координационной сферы уменьшается с 4,5 до 4,2 Å, что и объясняет уменьшение объема воды от точки таяния до точки максимальной плотности, от которой эффект теплового расширения жидкости

начинает преобладать над эффектом ее сжатия в результате перехода структуры в другую форму. Наконец, в интервале  $200\text{--}340^\circ$  вода становится аммониеобразной, т. е. переходит в структуру с плотной упаковкой идеальной жидкости.

Итак, согласно Берналу и Фаулеру, существуют три основные формы воды: вода I — ледо-тридимитообразная, свойственная низким температурам (до  $4^\circ$ ); вода II — кварцеобразная, преобладающая при обычных температурах; вода III — аммониеобразная, преобладающая при высоких температурах, не доходящих на  $15\text{--}20^\circ$  до критической ( $374^\circ$ ). С изменением температуры эти формы непрерывно переходят друг в друга, но жидкость является гомогенной при всех температурах и лишь средние взаимные расположения молекул в большей или меньшей степени напоминают воду I, II и III.

Результатом перехода весьма ажурной структуры воды I в несколько менее ажурную структуру воды II является уменьшение объема воды II или увеличение ее плотности, за которым следует увеличение объема нормального порядка, особенно для воды III, в которой эффект сжатия при переходе к плотноупаковочной структуре подавляется эффектом термического расширения.

В свете своей теории воды Бернал и Фаулер рассматривают природу ионной гидратации, оказывающей глубокое влияние на жидкость. Изучение свойств растворов показало, что эффекты, производимые ионами на воду, заключаются в увеличении или уменьшении как молекулярного сцепления, так и правильности структуры воды. В связи с этим Берналом и Фаулером вводится представление о структурной температуре, которая увеличивается в случае больших ионов и уменьшается в случае малых ионов. В отношении этих эффектов ионы  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  являются аномальными. Эта аномалия, а также их крайне высокая подвижность дают авторам основание выдвинуть новое представление о механизме переноса ионов. Высокая подвижность ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  объясняется ими тем, что ион  $\text{H}_3\text{O}^+$  не стремится удержать свой добавочный протон и может при благоприятных конфигурациях двух молекул воды перенести его путем перескока (с временем около  $6,5 \cdot 10^{-13}$  сек) на другую молекулу. Таким образом, в то время как другие ионы должны сами проходить через воду, ионы  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  двигаются по принципу эстафеты, при котором необходимо только небольшое смещение протонов.

Бернал и Фаулер называли 11 основных свойств воды и ионных растворов, которые частью количественно (6), частью качественно (5) объясняет их теория «в хорошем согласии с экспериментом» (Bernal, Fowler, 1933).

Принципиально новое представление о структуре воды, развитое Берналом и Фаулером, явилось основой ее дальнейшего изучения.

Рентгенографические исследования С. Катцова (1934 г.) и особенно Дж. Моргана и Б. Уоррена (1938 г.) подтвердили четверную координацию молекул воды, которая, по Катцову, сохраняется и при температуре  $90^\circ$ , хотя и с меньшей упорядоченностью в расположении молекул (см. Самойлов, стр. 44). Тот же характер радиального распределения молекул воды был наблюдаем в рентгеноструктурных исследованиях жидкой воды, проведенных в 1962 г. и позже М. Д. Данфордом, Г. А. Леви и др. Тетраэдрическая упорядоченность в структуре воды принята в опубликованной в 1948 г. двухструктурной теории Л. Холла и в выдвинутой впервые в 1946 г. О. Я. Самойловым теории структурно-однородной модели, изложенной в его монографии «Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов» (1957).

О. Я. Самойлов обращает внимание на большую ажурность кристаллической решетки льда I, имеющей много пустот, причем их размеры даже превышают размеры молекул. Поскольку структуры льда и воды принимаются идентичными, эта ажурность считается характерной и для воды.

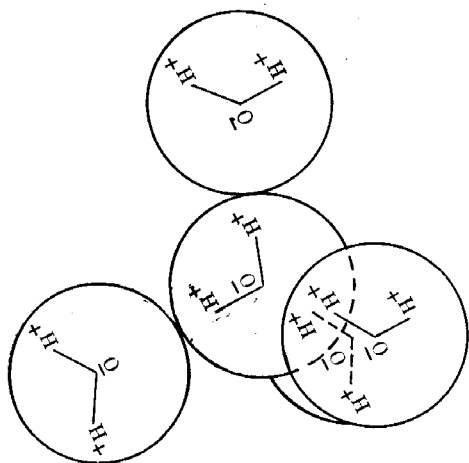


Рис. 5. Тетраэдрическая координация молекул в кристалле льда, действительная, по Дж. Берналу и Р. Фаулеру, и для воды

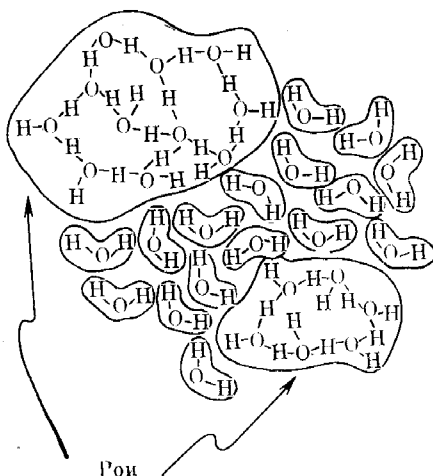


Рис. 6. Схематическое изображение кластерной модели воды Г. Фрэнка и В. Вэна

С повышением температуры пустоты слегка размытых тепловым движением льдоподобных каркасов заполняются молекулами, утратившими свои водородные связи. А такие молекулы, несомненно, существуют в жидкой воде. Как выяснено главным образом исследованиями советского физика Я. И. Френкеля (1945), имеются два рода тепловых движений частиц жидкости: колебания и вращательные качания около некоторых положений равновесия и скачкообразные перемещения из одного положения равновесия в другое. Второй вид движения, называемый трансляционным, и является, по Самойлову, причиной того, что с повышением температуры молекулы воды выходят из положений равновесия, попадают в пустоты льдоподобных структур и остаются там, не входя в водородные связи с окружающими их молекулами, до тех пор, пока не вынуждаются трансляционным движением переместиться в новое положение равновесия. Время трансляционного скачка составляет около  $10^{-13}$  сек.

Таким образом, основу теории О. Я. Самойлова составляют идея структурно-однородной модели воды и теория трансляционного движения ее молекул с заполнением пустот (или переходом в другие узлы каркасной решетки).

Теория О. Я. Самойлова позволяет качественно объяснить основные аномалии свойств воды. Вот как, например, объясняется автором максимум плотности воды: «Существование у воды максимума плотности можно связать с тем, что при увеличении температуры (скажем, от  $0^\circ$ ) в воде, с одной стороны, усиливаются колебания молекул около положения равновесия в структуре и соответственно растет эффективный радиус молекул, а с другой стороны, усиливается трансляционное движение и все больше молекул попадает в пустоты. Первое обстоятельство приводит к увеличению объема, второе — к уплотнению. Сочетание этих двух противоположных тенденций и обуславливает существование максимума плотности. Понятно, что все это происходит на фоне постепенного размывания структуры льда с ростом температуры — нарушением тепловым движением порядка в расположении молекул» (Самойлов, 1957, стр. 68).

В последующие годы теоретическая разработка проблемы строения воды шла преимущественно в русле основной идеи о пространственной упорядоченности молекулы воды, об их четверной координации, причем экспериментальные исследования дали новые подтверждения правильности этой

идеи. Но были высказаны и другие представления о структуре воды, в которых четверная координация молекул не является доминирующим принципом.

В 1948 г. немецкий физикохимик А. Эйкен опубликовал работу, в которой представления о жидкой воде основываются на модели молекулярных ассоциатов из 2—8 молекул  $H_2O$ . В жидкой воде при определенных температурных условиях происходит образование смеси из восьми-, четырех- и двучленных агрегатов и одиночных молекул. Двух- и четырехчленные ассоциаты существуют в виде цепочек, а восьмичленные — в форме замкнутых треугольных призм. Последние из-за наличия в них полостей имеют относительно большой объем и являются основой образования кристаллической решетки обычного льда. Соотношение ассоциатов в воде приводится в табл. 3.

Таблица 3. Мольные доли ассоциатов, по А. Эйкену

$t, ^\circ C$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_4$	$\gamma_8$
0	0,0500	0,3500	0,3000	0,3000
20	0,0810	0,4335	0,3080	0,1794
60	0,1620	0,5290	0,2610	0,0482
80	0,2095	0,5440	0,2225	0,2338

Известный немецкий океанолог Г. Дитрих в своей «Общей океанографии» (немецкое издание — 1957 г.), касаясь представлений о воде, приводит лишь теорию Эйкена и на ее основе объясняет свойства воды; следовательно, теории, относящиеся к типу гидродльных теорий, не утратили популярности. К гидродльным представлениям о воде примыкает появившаяся в 1957 г. так называемая кластерная модель Г. Фрэнка и В. Вэна, а в 1967 г. — модель кольцевых систем М. Аджено. Согласно теории Фрэнка и Вэна, в воде возникают участки (рои, кластеры) с высокоразвитыми водородными связями из 12—150 молекул, чередуясь с участками, где этих связей почти или вовсе нет. Поскольку время существования упорядоченных областей мало ( $10^{-10}$  —  $10^{-11}$  сек), то они получили название «мерцающих кластеров» (см. Синюков, 1971, стр. 11). Представление о кластерной модели дано на рис. 6. На рис. 7 показаны кольцевые структуры мельчайших агрегатов воды, по М. Аджено образуемые с помощью водородных мостиков. Возникновение таких структур объясняется Аджено тем, что в молекуле воды могут проявляться не четыре, а только две водородные связи. Вода, согласно рассматриваемой модели, представляется как равновесная в каждый данный момент система различных кольцевых агрегатов, представленных на рис. 7.

Аналитические обзоры работ последних лет имеются в монографии А. М. Блоха (1969), в указанной работе В. В. Синюкова, в труде американского геохимика Р. Хорна (1972), из которого нами заимствовано графическое изображение различных моделей структуры воды (рис. 8).

Каждое из рассмотренных выше представлений о воде явилось определенным шагом в познании ее структуры. Но, как говорит Р. Хорн, структура жидкой воды остается неизвестной. «Невозможность, — пишет он, — определить структуру воды с помощью эффективных современных методов исследования, позволивших разобраться в структуре таких чрезвычайно сложных биомолекул, как ДНК и миоглобин, должным образом предупреждает нас о том, что мы имеем дело с необычайно сложной системой» (Хорн, 1972, стр. 22). Создание теории агрегатного строения воды, удовлетворительно объясняющей, и не только качественно, но и коли-

чественно, ее фазовые изменения и все ее существенные свойства, остается важной задачей науки.

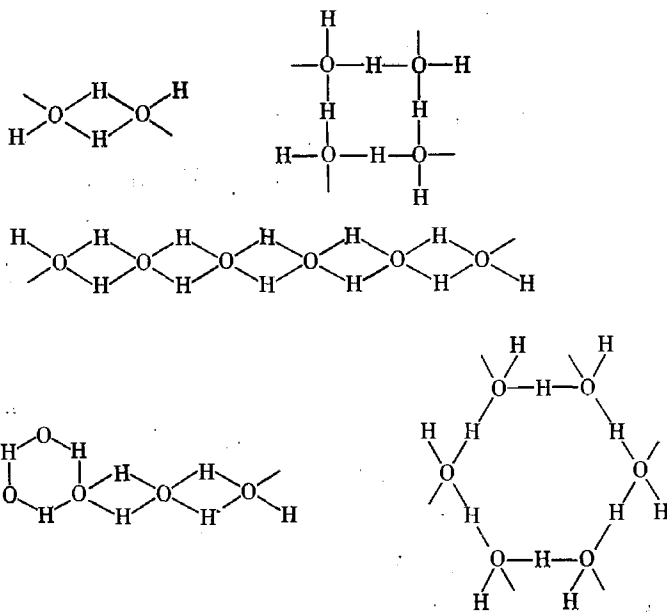
Коротко об исследованиях льда.

«О твердом состоянии воды известно меньше, чем о двух других (по трудности изучения)...», — писал Д. И. Менделеев в 1869 г. в главе «О воде в природе и ее физических свойствах» первого издания «Основ химии» (Менделеев, V, 1947, стр. 86). Важные результаты в изучении льда были получены в начале XX в. Первостепенное значение здесь имели прежде всего исследования американского физика П. Бриджмена, главная работа которого опубликована в 1912 г., и немецкого химика Г. Таммана, основные исследования и статьи которого относятся к 1909—1914 гг. Им принадлежит открытие нескольких модификаций льда. Ныне их известно восемь (Шумский, 1955). Лед I — это обыкновенный лед, устойчивый в нормальных условиях. Шесть модификаций — это льды, соответствующие высоким давлениям, от 2 до 50 тыс. атмосфер, из них льды II и III были открыты в 1900 г. Тамманом, а льды IV—VII — в 1912—1946 гг. Бриджменом. Все льды высокого давления имеют плотность, большую плотности льда I. Так, по современным данным при 0° С плотность льда II равна 1,2, льда III — 1,4 г/см<sup>3</sup>, а льда VI — почти в полтора раза больше плотности льда I. Это обстоятельство, очевидно, должно представлять собой важный фактор разрушения горных пород в случаях, когда при снятии высоких давлений плотные льды превращаются в обычный лед, увеличиваясь в объеме. При некоторых условиях давления лед V может существовать до температуры +0,16° С, лед VI — до температуры +81,6° С, лед VII — даже до +200° С («горячие льды»). Восьмой разновидностью льда является его низкотемпературная модификация, полученная в 1944 г. Кёнигом путем конденсации водяного пара в вакууме при температуре около —80° С<sup>1</sup>.

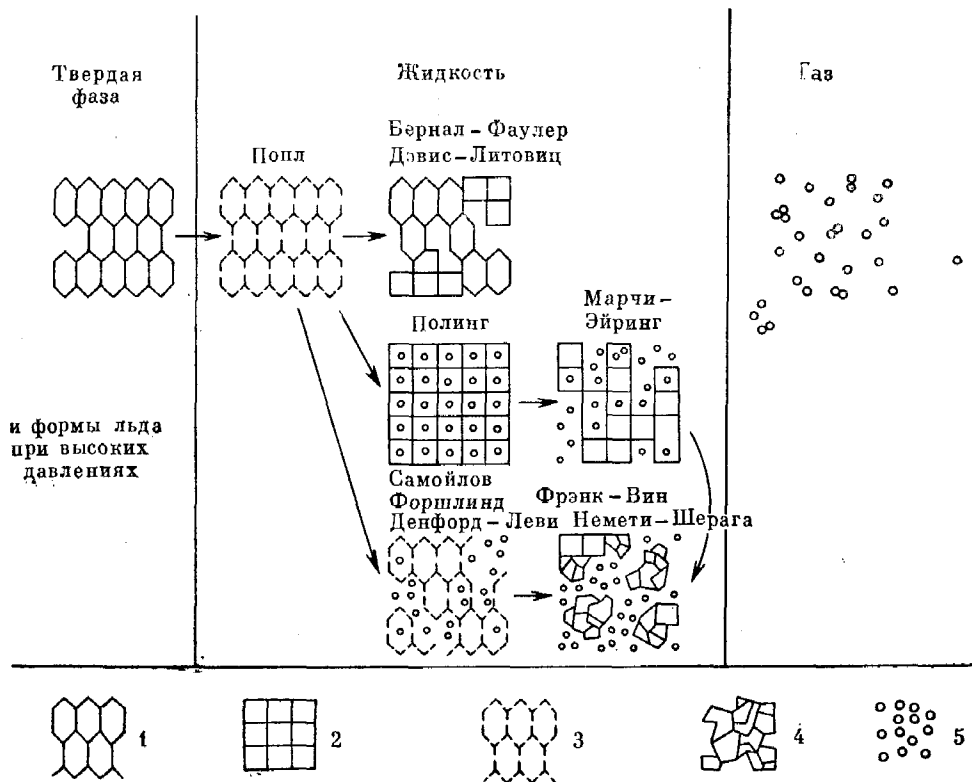
Знания о водяном паре, добытые исследованиями XVIII в., все более расширялись и углублялись. В первой трети XIX в. водяной пар изучался Дальтоном, Гей-Люссаком, Араго и Дюлонгом и американскими физиками. Эксперименты производились в пределах давлений пара от 1/561 атм у Гей-Люссака до 24 атм у Д. Араго и П. Дюлонга и в интервале температур от 100 до 224°; результаты этих опытов явились основой для формул, выражающих связь между температурой насыщенного пара и его упругостью. Но поскольку сведения о парах в первые десятилетия XIX в. оставались неполными и недостаточно точными, новые обширные исследования водяного пара были проведены в 40-х годах французским физиком и химиком А. Реньо (1810—1878 гг.). Им была изучена зависимость упругости водяного пара от температуры в интервале от —30 до +220° С. В 60-х годах немецкий физик Г. Цейнер на основе данных Реньо дал систематическое изложение теории паров и составил обширные таблицы их свойств, которыми пользовались в термодинамических расчетах вплоть до начала XX в. (Радциг, 1936). В 30-х годах XIX в. в результате проводившихся во многих странах исследований водяного пара при высоких температурах на международных конференциях были утверждены таблицы опорных точек для основных термодинамических величин воды и водяного пара. В СССР М. П. Вукалович составил такие таблицы до температуры 700° С и давления 300 атм.

Изучение критического состояния двух фаз вещества — жидкой и газообразной, начатое французским ученым Каньяр де ла Туром (1822 г.), продолжалось многими учеными, в том числе Д. И. Менделеевым. В 1861 г. он ввел понятие «температуры абсолютного кипения» (названной в 1869 г. английским ученым Т. Эндрюсом «критической температурой, при кото-

<sup>1</sup> В 1970 г. сообщалось («Science», 167, № 3914), что при конденсации чистого водяного пара в специальной вакуумной камере при очень низком давлении и температурах ниже 100° К наблюдалось формирование тонкого слоя (до 0,3 мкм) амфорного льда со средней плотностью около 2,32 г/см<sup>3</sup>.



Р и с. 7. Кольцевые системы молекул в жидкой воде, по М. Аджено



Р и с. 8. Основные теории структуры воды, по Р. Хорну (1968)

1 — кристаллическая решетка льда-1; 2 — кристаллические решетки, отличающиеся от льда-1; 3 — искаженная или разрушенная решетка льда-1; 4 — беспорядочно связанные молекулы воды; 5 — мономерные молекулы воды

Т а б л и ц а 4. Некоторые аномальные свойства воды, по Г. Свердрупу, М. Джонсону и Р. Флемингу (Хорн, 1972) (с добавлением графы «Численное значение»)

Свойства	Численное значение	Сравнение с другими веществами	Роль в физических и биологических явлениях
Теплоемкость	Жидкости 1,00 кал/г·град (15° С). Пара насыщенного 0,487 кал/г·град (100° С)	Наиболее высокая среди всех твердых и жидких веществ, за исключением NH <sub>3</sub>	Уменьшает пределы температурных колебаний; перенос тепла водными течениями очень велик; способствует сохранению постоянной температуры тела
Скрытая теплота плавления	79,7 кал/г	Наиболее высокая, за исключением NH <sub>3</sub>	Термостатирующий эффект в точке замерзания, обусловленный поглощением или выделением скрытой теплоты
Скрытая теплота испарения	539 кал/г (100° С)	Наиболее высокая из всех веществ	Высокое значение скрытой теплоты испарения крайне важно для теплового и водного переноса в атмосфере
Тепловое расширение		Температура максимальной плотности уменьшается с повышением солёности; для чистой воды равна 4° С	Для чистой и разбавленной морской воды максимум плотности наблюдается при более высокой температуре, чем температура замерзания; это свойство играет важную роль в регулировании распределения температуры и вертикальной зональности озер
Поверхностное натяжение	74,64 дин/см (0° С) 62,61 дин/см (80° С)	Наиболее высокое из всех жидкостей	Важно для физиологии клетки; определяет некоторые поверхностные явления, образование и свойства капли
Растворяющая способность		Как правило, растворяет большинство веществ и в больших количествах, чем другие жидкости *	Явно связывает между собой физические и биологические явления
Диэлектрическая постоянная	Льда 74,6 (0° С) Жидкости 81,0 (20° С) Пара насыщенного 1,007 (145° С)	Для чистой воды наиболее высокая из всех жидкостей	Имеет наибольшее значение для поведения неорганических растворенных веществ, так как определяет их диссоциацию
Электролитическая диссоциация	Концентрация H <sup>+</sup> и OH <sup>-</sup> равна 1·10 <sup>-7</sup> (рН=7)	Очень мала	Нейтральное вещество
Прозрачность		Относительно велика	Сильно поглощает лучистую энергию в инфракрасной и ультрафиолетовой областях; в видимой части спектра отмечается относительно малое избирательное поглощение, поэтому «бесцветна»; особенно поглощения важны для физиологических и биологических явлений
Теплопроводность	Льда 5,6·10 <sup>-3</sup> кал/(см·сек·град) (0° С) Жидкости 1,43·10 <sup>-3</sup> (0° С) 1,54·10 <sup>-3</sup> (45° С) Пара насыщенного 5,51·10 <sup>-5</sup> (100° С)	Наиболее высокая из всех жидкостей	Основную роль играет в процессах малого масштаба, например в тех, которые происходят в живых клетках, но для молекулярных процессов оказывается гораздо важнее, чем вихревая проводимость

\* Из числа открытых в последние годы новых неожиданных свойств воды отметим весьма высокую способность паров воды растворять при 400° С практически нерастворимые в нормальных условиях такие вещества, как Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub> (см. Юхневич, 1973).



рой: «а) жидкость не существует и дает газ, не переходящий в жидкость, несмотря на увеличение давления, б) сцепление = 0 и с) скрытая теплота испарения = 0» (Менделеев, V, стр. 291). По последним данным параметры критического состояния системы вода — пар равны: температура 374,15° С, давление 225,65 атм (при более высоких давлениях сосуществование воды и пара невозможно).

Скажем немного об изучении некоторых других свойств жидкой воды. Как отмечалось, Дж. Кантоном была доказана в 1761 г. сжимаемость воды под давлением. Первые точные измерения сжимаемости воды были произведены в 1847 г. А. Реньо, причем было установлено, что с повышением температуры от 0° коэффициент сжимаемости уменьшается; однако дальнейшие исследования показали, что это происходит только примерно до 60°, а затем коэффициент сжимаемости воды, как и других жидкостей, возрастает (Менделеев, V, стр. 178).

Многими учеными исследовалось расширение воды при нагревании. Подробный обзор этих исследований дан Д. И. Менделеевым в 1891 г. в его статье «Изменение плотности воды при нагревании». На основании собственных опытов, проводившихся им с 1861 г., и опытов других исследователей Д. И. Менделеев предложил в 1891 г. формулу для определения плотности воды в зависимости от температуры в пределах от -10° до +200°. Следует сказать, что вода обладает свойством оставаться при определенных условиях жидкой при очень низкой температуре: согласно опыту швейцарского физика Л. Дюфура (1861 г.) — при -20° С, а американские исследователи обнаружили в 1916 г. в глинистых грунтах незамерзшую воду с температурой -78°С.

Вязкость воды в интервале температур от 0 до 30° под влиянием давления изменяется аномально: она в отличие от вязкости других жидкостей не увеличивается, а уменьшается.

В заключение этого параграфа приведем таблицу основных аномальных свойств воды, имеющих исключительно важное значение в процессах, происходящих в природе, в том числе в гидросфере Земли (табл. 4).

## ЗНАЧЕНИЕ ВОДЫ В ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССАХ

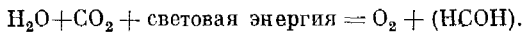
Без воды нет жизни. Бесспорность этого часто повторяемого положения очевидна. Но рассмотрим его конкретнее.

Действительно, вода составляет подавляющую долю веса животных и растительных организмов. Еще Эмпедокл высказывал предположение, что кровь и мясо животных состоят из равных по весу количеств четырех элементов, а в костях первозлементы находятся в соотношении  $\frac{1}{2}$  огня,  $\frac{1}{4}$  земли и  $\frac{1}{4}$  воды. Приведем некоторые сведения о процентном содержании воды (по весу) в организме человека, животных, в растениях (Duval, 1962, стр. 9). Тело взрослого человека, в зависимости от возраста, содержит 58—66% воды, его кровь — 79%. Органы и части человеческого тела содержат следующие процентные количества (в %) воды в округленных числах: почки — 83, сердце и легкие — 79, кишечник — 77, мышечная ткань — 76, кожа — 72, печень — 70, хрящи — 55, жир — 30, скелет — 22, зубы — 10.

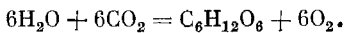
Частично вода поступает в организм человека с пищей. В целом в теле животных содержание воды несколько более высокое, чем в теле человека. У рыб и моллюсков оно повышается до 76%, а в медузах доходит до 95%. В потребляемых человеком продуктах животного и растительного происхождения вода составляет округленно следующие количества (в %): говядина жирная — 53, постная — 76, телятина — 78, свинина жирная — 47, постная — 72, куриное яйцо — 74, треска — 82, форель — 80, коровье молоко — 87, баклажаны — 92, свекла — 88, морковь — 89, белая капуста — 94, огурцы — 98, дыня — 89, арбуз — 94, помидоры — 91, карто-

фель — 78, белый гриб — 90, свежий пшеничный хлеб — 34, груши, яблоки, сливы — 85. Потребность организма в воде удовлетворяется приемом пищи и напитков, но некоторая доля воды образуется в организме за счет сгорания водорода, т. е. соединения его с вдыхаемым кислородом.

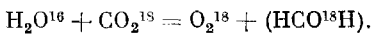
Что касается образования кислорода, то уже определено известно, что кислород атмосферы — продукт разложения воды, а не углекислого газа в процессе фотосинтеза, производимого растениями. Это мнение, высказанное рядом ученых еще в середине XIX в. и положенное А. Н. Бахом (1857—1946 гг.) в основу предложенной им в 1896 г. схемы фотосинтеза (История биологии..., 1972, стр. 445), в 1940-х годах стало научным фактом. Схематически реакция при фотосинтезе идет по уравнению



Например, образование молекулы сахара упрощенно может быть представлено так:

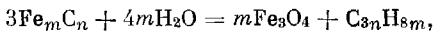


Применение метода меченых атомов ( $\text{O}^{18}$ ) позволило показать (Виноградов и Тейс, стр. 56)<sup>1</sup>, что выделяющийся при фотосинтезе кислород является кислородом воды, а не углекислого газа.



Таким образом, без воды не может быть и дыхания — первого и постоянного условия жизни.

Благодаря воде, ее физическим и химическим свойствам на Земле появилась жизнь. Д. И. Менделеев показал в 1877 г. возможность абиогенного образования углеводов при действии воды на карбиды, выразив эту реакцию уравнением:



где  $m$  и  $n$  — обычно целые числа, соответствующие количествам атомов в монокристалле карбида. Считается, что древние мелководные моря явились колыбелью возникновения жизни в ее простейших формах. Благодаря круговороту воды происходило постепенное накопление в первичных морях самых разнообразных производных углеводов до той степени концентрации, какая была необходима для возникновения жизни.

«Именно вода гидросферы, — утверждает А. И. Опарин, — явилась той обязательной, незаменимой средой, в которой происходило формирование наиболее сложных органических соединений, послуживших в дальнейшем материалом для построения тел живых существ» (Опарин, 1957, стр. 177).

По поводу места происхождения жизни мнения ученых расходятся. Она могла возникнуть и в море, и на суше. В пользу первой возможности имеется, в частности, тот веский аргумент, что жидкости (кровь, пот, слезы) не только морских, но и всех сухопутных животных соленые, причем жидкость простейшего беспозвоночного, трески, лягушки и человека по составу растворенных в ней солей близка к морской воде. «Вероятно, — говорит английский астроном М. Овенден, — первые подвижные одноклеточные существа развились в море, так как отдельному организму легче приобрести подвижность в воде, чем на суше» (Овенден, 1965, стр. 80).

Биолог М. М. Камшилов считает, что жизнь зародилась в морской среде только что 400 млн. лет назад, когда «слой озона закрыл доступ к поверхности Земли коротковолновому ультрафиолетовому излучению... создались предпосылки к выходу организмов из воды на сушу» (Камшилов,

<sup>1</sup> Образование выделяющегося в атмосферу молекулярного кислорода из  $\text{H}_2\text{O}$ , а не из  $\text{CO}_2$  в том же году было показано также С. Рубеном и М. Каменом (см. Клауд и Джибор, 1972, стр. 74).

1974, стр. 46). Но другие ученые склоняются к тому, что жизнь возникла в земноводных ландшафтах, затем распространилась на океан, а еще позже и на сушу. К. К. Марковым подобная точка зрения выражена в следующих словах: «Носителем древнейшей жизни был определенный комплекс условий географической среды. Жизнь возникла там, где взаимодействовали литосфера, гидросфера и атмосфера. Родина жизни — дно мелких лагун, влажная поверхность пород, отдельные мелкие водоемы, влажная кора выветривания, вероятно, все это в пределах приэкваторной зоны» (Марков, 1960, стр. 198). Географ Ф. Н. Мильков считает, что «больше всего доводов в пользу земноводного варианта» возникновения жизни (Мильков, 1970, стр. 148). Но какой бы вариант — морской или земноводный — ни считать наиболее вероятным (скорее всего, оба они имели место, как это и следует из высказывания К. К. Маркова), неоспоримо то, что вода явилась неременным условием возникновения и развития органической жизни на нашей планете.

В свете сказанного убедительно звучит не раз приводимая В. И. Вернадским ссылка на американского физиолога Л. Гендерсона, который «не только доказал неразрывную связь воды с проявлениями жизни, но установил, что среди бесчисленных известных химических соединений положение воды исключительное. Это соединение в силу своих физических и химических свойств наиболее благоприятно существованию жизни. Ни одно из известных химических соединений не может с этой точки зрения даже издалека быть сравниваемо с водой» (Вернадский, I, стр. 112). «С тех пор, — писал Гендерсон, — как мы получили более ясное представление о физических и химических особенностях протоплазмы, установился взгляд, что сам организм представляет из себя водный раствор, в котором рассеяны чрезвычайно сложные коллоидные вещества. Следовательно, не может существовать ни одного физиологического процесса, при котором вода не имела бы первенствующего значения» (Гендерсон, 1924, стр. 45).

Укажем, далее, на некоторые важные защитные для жизни на Земле функции воды, обусловленные ее особыми физическими свойствами. Две аномалии воды — значительное скачкообразное уменьшение плотности при замерзании и ее наибольшая плотность при температуре  $4^{\circ}$  — имеют огромное значение в жизни рек, озер и других водоемов. Благодаря этим аномалиям водоемы, замерзая с поверхности, покрываются более легким, чем вода, льдом, что предохраняет нижние толщи воды от сквозного промерзания, а животный мир водоемов от опасности гибели даже в очень суровые зимы.

Вторая защитная функция воды осуществляется находящимися в атмосфере парами воды (как и углекислым газом и озоном). Большую часть энергии, посылаемой Солнцем на Землю, составляет видимое излучение, легко проникающее через атмосферу. Обратное излучение земной поверхностью полученной от Солнца энергии лежит главным образом в пределах инфракрасной части спектра, которое сильно поглощается указанными газами. Осуществляется так называемый парниковый эффект, без которого, как показывает расчет, средняя температура земной поверхности была бы на  $18^{\circ}\text{C}$ <sup>1</sup> ниже существующей, т. е. составляла бы не  $+15$ , а  $-3^{\circ}$ , и, следовательно, жизнь на Земле была бы невозможной (см. Якуцени, 1971). Наконец, укажем на исключительно важную роль воды океанов и морей в поддержании равновесия углекислоты в атмосфере благодаря ее поглощению водой и превращению в ней в карбонаты.

Ввиду необычайно высокой удельной теплоемкости воды, скрытой теплоты парообразования и плавления льда, а также очень большой подвижности жидкой и газообразной воды, она оказывает огромное влияние на

<sup>1</sup> По другим подсчетам — даже на  $40^{\circ}$  (см. Бейтс, 1961, стр. 123).

режим тепла на поверхности земного шара, способствуя прежде всего выравниванию климатических условий в различных частях планеты.

Океан и суша, непрерывно испаряя влагу, снабжают атмосферу громадными количествами тепловой энергии, заключенной в водяных парах. Эта энергия, высвобождаемая при охлаждении и конденсации паров, является движущей силой атмосферных процессов, приводящих к климатическому взаимодействию различных областей земного шара.

Следует также указать на регулирование теплового режима планеты мощными океаническими течениями, производящими теплообмен между экваториальными и полярными областями. Известный американский океанограф и метеоролог М. Мори (1806—1873 г.) писал в своей «Физической географии моря», впервые изданной в 1855 г.: «Творец дал два великих назначения океану и воздуху: разделить влагу по поверхности земли и смягчить суровые противоположности климата в различных широтах» (Мори, 1869, стр. 72). О грандиозном природном явлении — круговороте воды на Земле, определяющем по существу все процессы в ее биосфере, мы будем подробно говорить дальше. Здесь отметим следующее. Ф. Н. Мильков, выделивший пять вариантов единого планетарного комплекса — ландшафтной сферы Земли, подчеркивает, что важнейшим механизмом процесса обмена веществ и энергии в этом комплексе является большой круговорот воды (Мильков, 1970). Но и характерные черты определенных ландшафтных зон, как это следует из установленного А. А. Григорьевым и М. И. Будыко периодического закона географической зональности, формируются в зависимости от соотношения годовых значений радиационного баланса и атмосферных осадков.

Вода обладает важным свойством легко прилипать к твердым веществам, в молекулы которых входят атомы с повышенной электроотрицательностью, активно вступающие с водородными протонами в водородную связь.

Нам придется вспомнить об этом свойстве воды, когда мы на стр. 97 будем говорить о пленочной воде, на стр. 123 встретимся с замечанием Г. Юри о значении ее в процессе коагуляции тонкой пыли протопланетного облака в планетезимали, блоки будущих планет, или на стр. 163 будем говорить об образовании облачных капель вокруг ядер конденсации.

Высокая растворительная способность, большое поверхностное натяжение, зависящее от него высокое капиллярное поднятие, повышенная способность смачивать другие тела — все эти свойства воды, обуславливаемые проявлением ее молекулами водородных связей между собой и другими веществами, а также расширение воды при замерзании делают ее одним из наиболее мощных созидательных и разрушительных факторов на поверхности Земли и в ее недрах.

Упомянем еще о той мощной влекущей силе, которой обладает вода, текущая под влиянием уклона в руслах рек. В гидравлике и русловой гидрологии известен установленный в 1834 г. английским ученым В. Эри закон, согласно которому веса влекомых по дну частиц пропорциональны шестой степени скорости течения воды. Это значит, что если скорость потока увеличивается в 2 раза, то вода с такой скоростью может передвигать по дну твердые тела, в 64 раза более тяжелые.

В природе не существует другой жидкости, одинаковой с водой по способности растворять в себе различные вещества. Кроме жиров и углеводов, которые почти не растворяются в воде, имеется еще очень немного подобных веществ. Около 50 химических элементов растворено в морской воде. При средней солености океана 3,5‰ в нем содержится более 46 миллионов миллиардов тонн минеральных веществ, ежегодно пополняемых стоком с суши в объеме до 3,5 млрд. тонн. Если бы этот запас минеральных веществ распределить ровным слоем по поверхности материков, их уровень поднялся бы на 200 м (Вульфсон, 1962).

Автор только что указанной статьи называет морскую воду многоэлементной рудой постоянного состава, а также высокоурожайной жидкой почвой, обеспечивающей жизнь и размножение многочисленных растительных и животных организмов, общая масса которых в океане составляет в настоящее время, по данным Л. А. Зенкевича, 16 млрд. тонн. Природными химическими растворами являются и воды суши — поверхностные и подземные.

Почвой «в широком смысле этого слова» называл воду советский географ С. Д. Муравейский (1894—1950 гг.). Он писал: «Гумус, органические вещества в растворенном состоянии, растворимые в воде питательные соли (неорганические соединения азота, фосфора, калия и т. д.), растворенные в воде миперальные соединения, определяющие основной солевой состав воды, растворенные газы — все это и создает комплекс свойств, совпадающих с комплексом свойств, определяющих качественную специфичность почв. Следовательно, вода водоемов по всем своим свойствам принадлежит к природным телам типа почв, а не мипералов» (Муравейский, 1946).

В. И. Вернадский в своем труде «История природных вод» отнес воду к царству минералов. Он замечал по этому поводу: «Книга эта, впервые после Гаюи, минералогия которого вышла в свет более 100 лет тому назад, рассматривает природные воды как минералы. Автору кажется, что этот способ рассмотрения вскрывает многие важные черты явлений, которые в ином рассмотрении упускаются» (Вернадский, IV, 2, 1960, стр. 7).

Подчеркивая химическую активность природной воды, В. И. Вернадский указывал на три вида взаимодействия ее с другими веществами. Во-первых, растворение в воде других веществ, при котором молекулярная структура воды не нарушается; во-вторых, гидратация — процесс, «не менее мощный и обычный в земной коре, чем растворение» (там же, стр. 113), причем в этом процессе оба атома водорода и атом кислорода с некоторым изменением связи между ними входят в химическое соединение с твердыми или жидкими телами, образуя кристаллогидраты, а также образование соединений, в которые молекулы воды входят, расщепляясь на элементы (конституционная вода), причем при разложении этих соединений вновь образуются молекулы воды; в-третьих, реакции распада молекул воды (например, при фотосинтезе в растениях) и их синтеза в земной коре и, возможно, в высоких слоях атмосферы.

Будучи сильным растворителем и находясь в непрерывном движении, вода совершает на Земле огромную рельефообразующую работу. Размыв поверхность суши и вынос продуктов размыва в море не могли быть незамеченными уже древними натуралистами. Так, Овидий писал в «Метаморфозах»: «Где некогда была равнина, там воды сделали углубления; где горы прежде стояли, там смыванием явилась равнина» (см. Вселенная и человечество, 1896, стр. 202).

«Возница природы» — так назвал воду Леопардо да Винчи. Размывая горные породы, перенося, сортируя и откладывая продукты размыва, текучие воды образуют в руслах рек россыпные месторождения некоторых металлов, в том числе золота, а также драгоценных камней (алмаза, топаза и др.). Образование самих месторождений металлов происходит главным образом благодаря участию в глубинных интрузиях магмы газодных растворов.

Представление о первостепенной роли воды в процессах рудообразования нашло выражение в недавно выдвинутой С. М. Григорьевым гипотезе о существовании в земных недрах «дренажной оболочки» между критическими термическими уровнями для воды (374,15°) и для растворов (400—450°), на границах которой происходят фазовые превращения воды и пара, образующие механизм сортировки веществ по их удельному весу (Григорьев, 1971).

Относительно высокой степени капиллярного поднятия воды достаточно сказать, что это свойство в сочетании с огромной растворительной способностью воды обеспечивает возможность потребления растениями извлекаемых из земли корневой системой питательных минеральных солей.

Мы закончим этот краткий обзор о роли воды в природных процессах, роли, определяемой прежде всего ее необычными физико-химическими свойствами, словами В. И. Вернадского об особом положении воды в истории Земли: «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.

Не только земная поверхность, но и глубокие — в масштабе биосферы — части планеты определяются, в самых существенных своих проявлениях, ее существованием и ее свойствами» (Вернадский, IV, 1960, стр. 16).

## ГИДРОГРАФИЯ ЗЕМЛИ И МАССЫ ВОДЫ В РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТЯХ ГИДРОСФЕРЫ

### ВОДА НА ПОВЕРХНОСТИ ПЛАНЕТЫ

#### ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ЗЕМЛЕ И О СООТНОШЕНИИ СУШИ И МОРЯ

Представления древних народов о Земле в значительной степени определялись условиями места их проживания. Вавилоняне, сведения о которых пришли к нам из глубины 5—6-тысячелетней древности, представляли Землю в виде горы, окруженной морем.

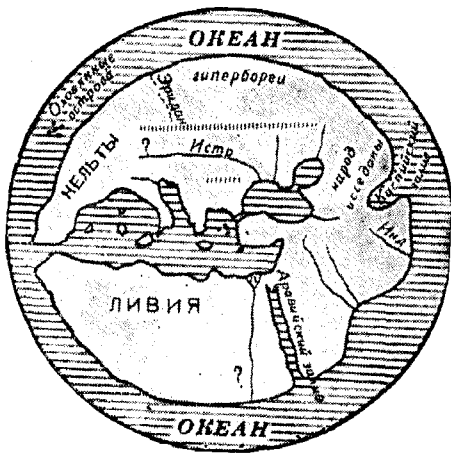
По воззрениям древних евреев, жителей Палестины, Земля — равнина, имеющая подземные источники, питающие реки и моря, причем последние занимают лишь одну седьмую часть поверхности Земли. Этот взгляд на соотношение суши и моря (6:1) получил отражение в Библии, где говорится: «В третий день ты повелел водам собраться на седьмой части земли, а шесть частей осушил, чтобы они служили пред тобою к обсеменению и обработанию» (Третья книга Ездры, 6, 42).

У древних греков, как это видно из поэм Гомера «Одиссея» и «Илиада» (VIII в. до н. э.), Земля представляется в виде плоского или слегка вогнутого диска, окруженного со всех сторон рекой Океаном. Такое представление о форме Земли, свойственное всем древним народам, естественно вытекало из видимого горизонта Земли. Так же естественным казалось, что Земля должна быть окружена водой. Родоначальник милетской натурфилософской школы Фалес читал, что Земля плавает в воде, а по форме он, по-видимому, представлял ее кругом или диском. По свидетельству Страбона (63 г. до н. э.—20 г. н. э.), ученик Фалеса Анаксимандр (610—546 гг. до н. э.), первым изготовивший географическую карту, мыслил Землю в виде цилиндра с отношением высоты к диаметру основания как 1:3, на середине которого находится суша в виде большого круглого острова, ойкумены (т. е. населенной земли), разделенного средиземным морским бассейном на две половины — Европу и Азию. Им же впервые была высказана смелая гипотеза о том, что Земля находится в центре мира, не имея никаких опор.

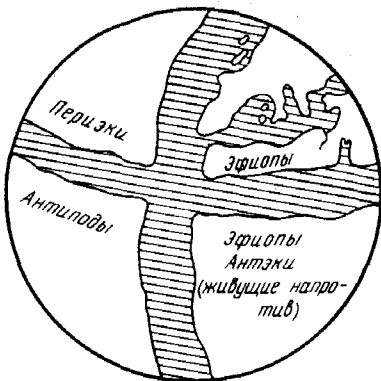
Другим автором географической карты был географ и историк из Милета Гекатей (545—480 гг. до н. э.). Его карта, как и карта Анаксимандра, не дошла до нас, но по описанию можно представить ее в виде, изображенном на рис. 9. Следует сказать, что некоторые древнегреческие ученые (например, Посидоний) представляли океан не окаймляющим сушу, а разделяющим ее на четыре части пересекающимися полосами; это мнение разделялось и в более позднее время, что показано на предположительном изображении глобуса Кратеса Милосского (II в. до н. э.) (рис. 10).

Шагом вперед в представлении обитаемого пространства явилось описание его Геродотом (484—425 гг. до н. э.), отображенное на рис. 11, хотя он и считал Землю плоской. В отличие от предшествующих представлений известная Земля у Геродота не является островом и не омывается со всех сторон морем.

Считается наиболее вероятным, что впервые представление о шарообразности Земли было высказано в письменном виде Парменидом, жившим в начале V в. до н. э. Однако уже позже Демокрит (460—370 гг. до н. э.)



Р и с. 9. Вид Земли, по Гекатею



Р и с. 10. Глобус Кратеса

39 640 км), т. е. весьма близкой к действительной величине (40 008 км). Ойкумену он считал островом, окруженным единым океаном; по очертанию он сравнивал ее с хламидой, т. е. плащом, и полагал, что она занимает лишь одну треть поверхности земного шара, а две трети принадлежит морю (Фрадкин, 1972, стр. 77). Представление о суше — острове в океане в гораздо более позднее время высказывал известный греческий географ Страбон, писавший: «О том, что обширный мир является островом, можно заключить из наших чувств и из опыта. Ведь повсюду, где только человек может достичь пределов Земли, находится море; и это море мы называем Океаном» (Страбон, 1964, стр. 11).

Какими далекими от действительности были представления о земной поверхности в I в. н. э., можно судить по реконструкции карты, составленной по работе географа из Южной Испании Помпония Мелы «О положении Земли», написанной в 43 г. н. э. (рис. 12). На карте Мелы получил отражение один из двух споривших между собой взглядов, а именно, что суша представляет меньшую часть поверхности Земли, что большую часть занимает единый океан. Противоположный взгляд о преобладании суши и о замкнутости морей был поддержан выдающимся географом К. Птолемеем (90—168 г. н. э.). Это неправильное представление и получило отображение на карте ойкумены Птолемея (рис. 13), на которой Индийский океан изображен замкнутым бассейном.

По подсчету польского географа И. Сташевского, площади суши и океана ойкумены Птолемея распределялись, как показано в табл. 5.

говорил о Земле как о слегка вогнутом диске. Только благодаря признанию шарообразности Земли другим выдающимся ученым Древней Греции, Платоном (427—347 гг. до н. э.), эта теория получила более широкое распространение. Платон высказал убеждение в том, что шарообразная Земля, находясь «посреди неба», однородного во всех направлениях, не нуждается ни в какой силе, удерживающей ее от падения. По его мнению, «Земля очень велика» и проживающие на пространстве от реки Фасис до Геракловых Столбов занимают «лишь малую его частицу» (Платон, 1965, стр. 402).

Однако сведения о распределении вод и суши продолжали оставаться скудными. Древние греки более или менее хорошо знали только Средиземное и Красное моря, а также немного знали об океане за Геракуловыми Столбами (Гибралтаром) и об Аравийском заливе. Только в IV столетии до н. э. греку Пифею удалось на кораблях достичь берегов Великобритании.

Эратосфену (275—194 гг. до н. э.), библиотекаря знаменитой Александрийской библиотеки, принадлежит первое определение длины окружности земного шара по меридиану. Она оказалась у него равной 39 375 км (по другим данным —



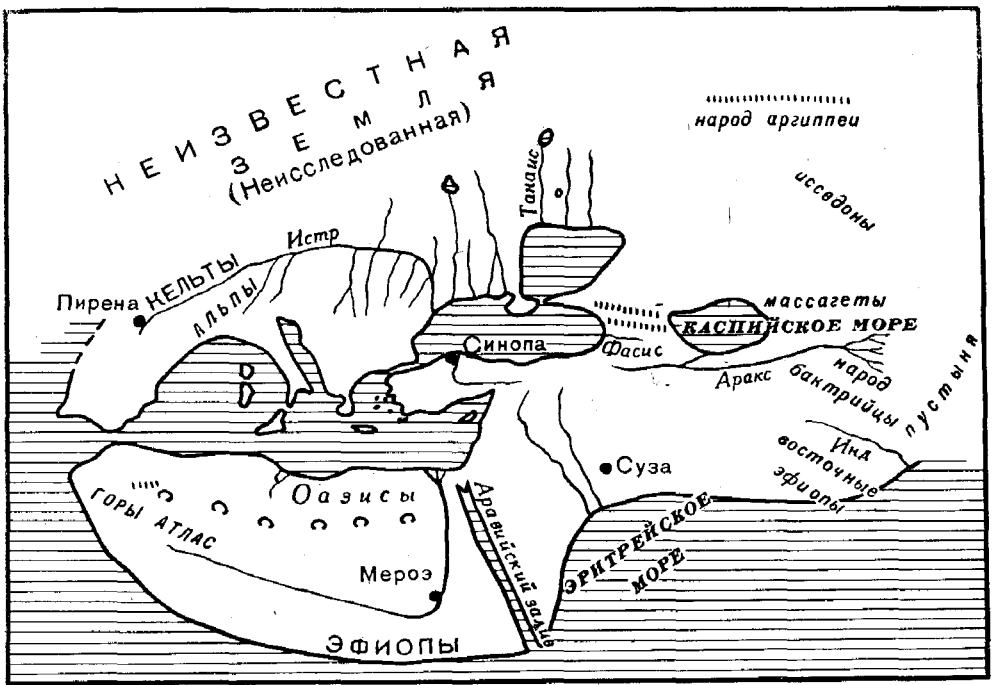


Рис. 11. Вид Земли, по Геродоту

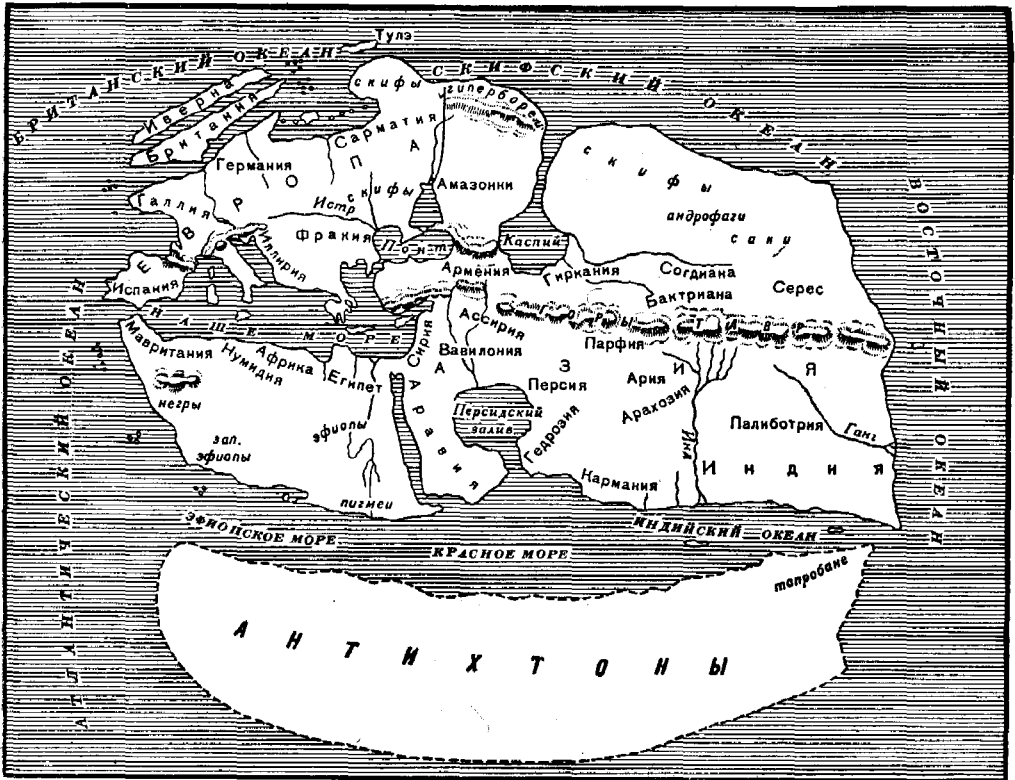


Рис. 12. Земля, по Помпонию Меле

Р и с. 13. Мир, по Птолемеею

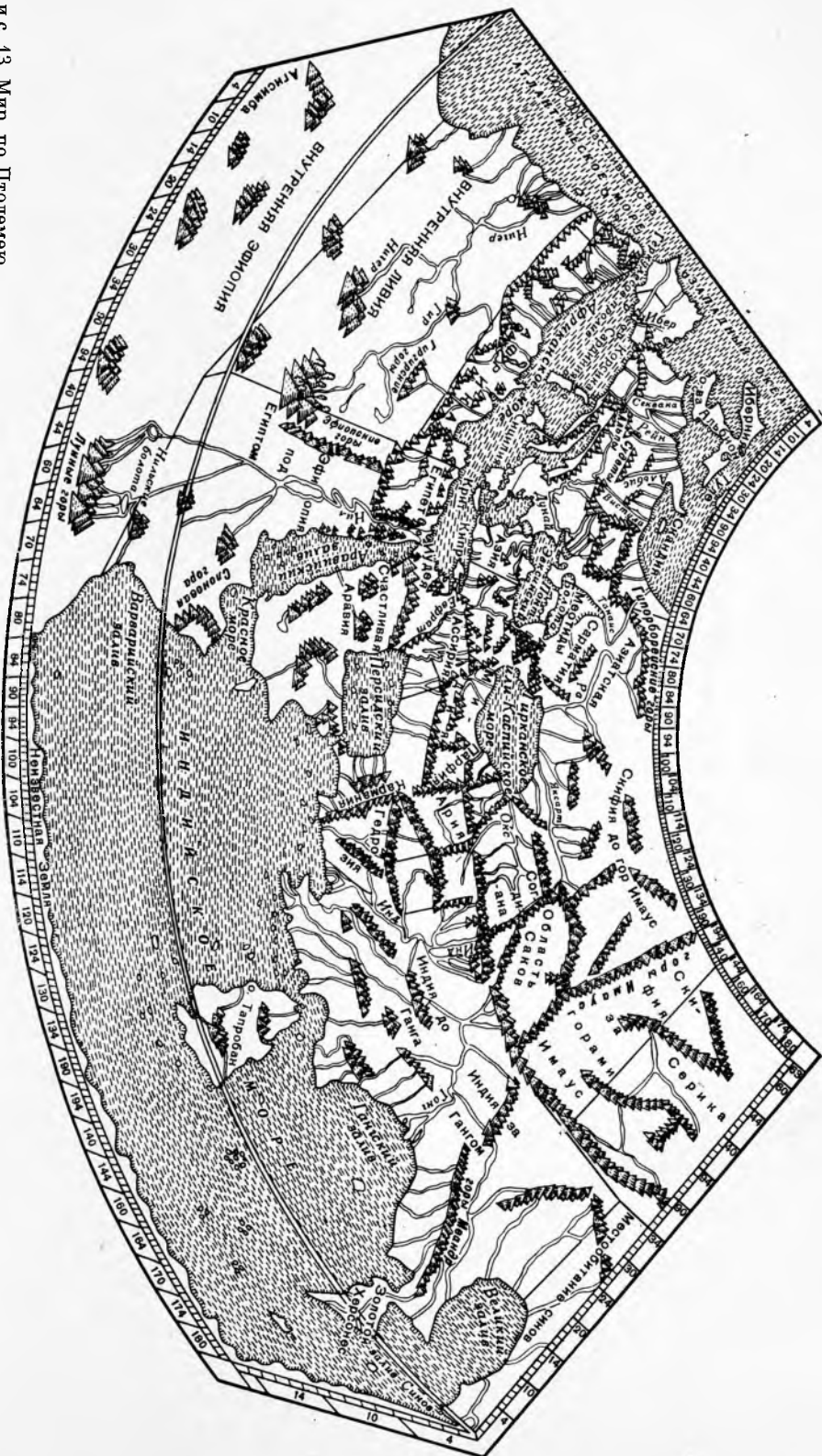


Таблица 5. Распределение суши и океана в ойкумене К. Птолемея

Материи и океаны	Площадь, млн. км <sup>2</sup>	% от площади всей суши	% от площади Мирового океана
Европа	7,5	7,5	
Африка	39,6	39,4	
Азия	53,4	53,1	
Суша	100,5	100	
Индийский океан	41,5		74,6
Средиземное море	5,4		9,8
Атлантический океан	8,7		15,6
Океан	55,6		100

Таким образом, суша в ойкумене Птолемея занимала 64,4%, а воды покрывали лишь 35,6% пространства.

Не приблизилась к более правильному представлению о географии Земли и карта римлянина Макробия, относящаяся к первой половине V в. н. э. (рис. 14). Но это уже было время упадка Рима, каун длительного периода средневекового застоя в развитии научной мысли, когда знания, добытые в период расцвета Греции и Рима, были забыты, когда даже представление о шарообразности Земли уступило место нелепой картине мира византийского купца и путешественника Козьмы Индикоплова (т. е. плователя в Индию), получившей церковное признание и широкое распространение. В написанной около 547 г. «Христианской топографии» Индикоплов изобразил Землю в виде прямоугольной скинии, в 2 раза более вытянутой с востока на запад, чем с севера на юг, и омываемой со всех сторон океаном (рис. 15). Следует, однако, отметить, что и в средневековое время появлялись здравые суждения о Земле, о ее шарообразности, например у Бэды (675—735 гг.), А. Ширакаци (VII в.), Данте Алигьери (1265—1321 гг.), Дж. Мандевилля (1300—1372 гг.). Появлялись и карты, в которых находили отражение сведения о реальной картине мира, например карта испанского монаха Беата, относящаяся к 776 г. (рис. 16). Как отмечает А. Г. Исаченко, эта карта служила источником для многих последующих карт вплоть до XIII в. (Исаченко, 1971, стр. 78).

Хотя представления Индикоплова продержались очень долго, все же многочисленными путешествиями, сухопутными и морскими, в раннем и среднем средневековье доставляется большой географический материал, и уже начиная с XV в. составляется несколько довольно подробных мировых карт. О том, какими знаниями о распределении суши и океана располагала география к концу XV в., может дать представление относящийся к 1492 г. глобус Мартина Бехайма (рис. 17). На нем нет еще Америки, и Бехайм, придерживаясь, как и крупнейшие натуралисты XIII в. Роджер Бэкон (1214—1292 гг.) и Альберт фон Больштедт (Альберт Великий), мнения Птолемея о преобладании суши над морем, считал, что недалеко от западных берегов Европы должен быть Азиатский материк.

Пространство между Испанией и предполагаемой Индией Бэкон представлял еще более узким, в виде пролива, по которому воды полюсов, холодные ввиду их удаленности от Солнца и потому более высокие, имеют постоянный отток к экватору. В заблуждении насчет близости

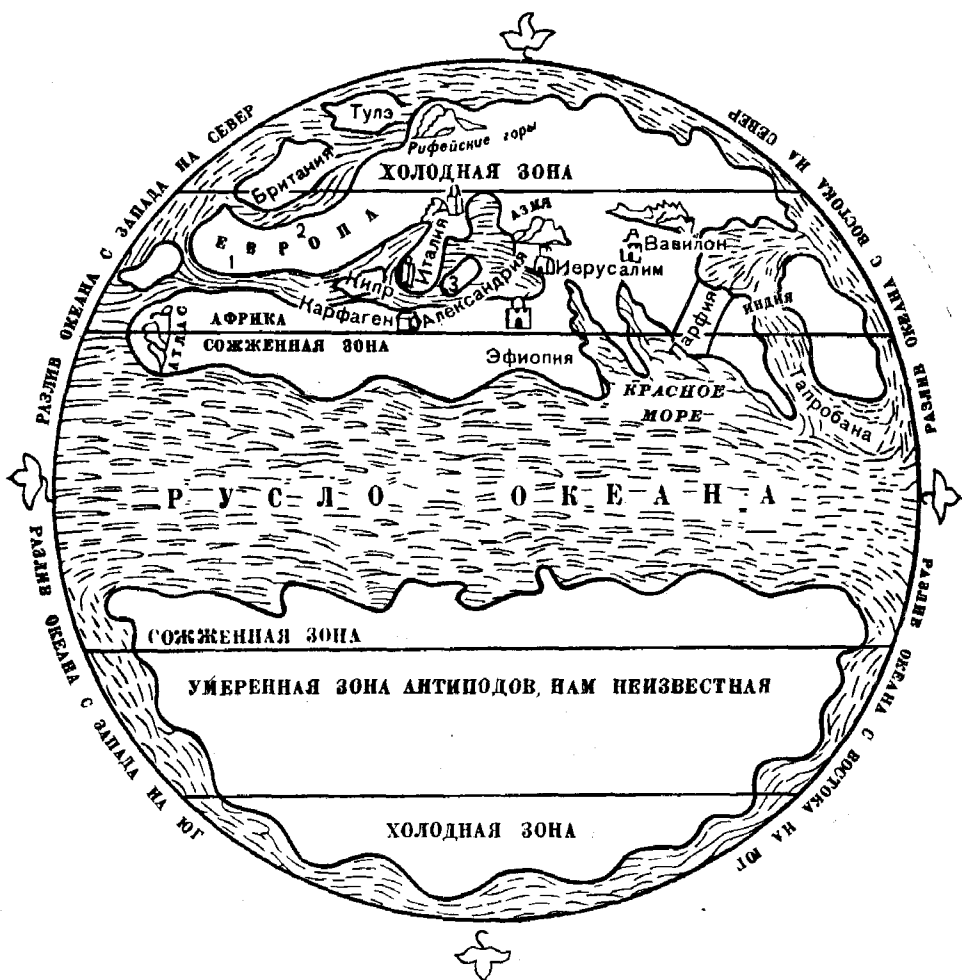
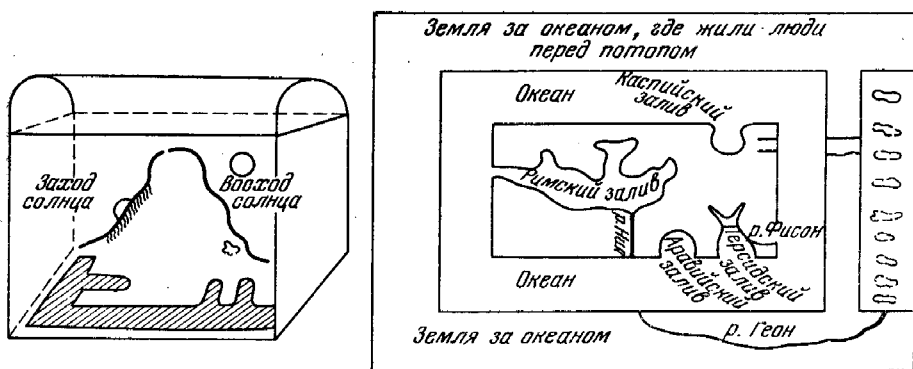


Рис. 14. Земля, по Макробию

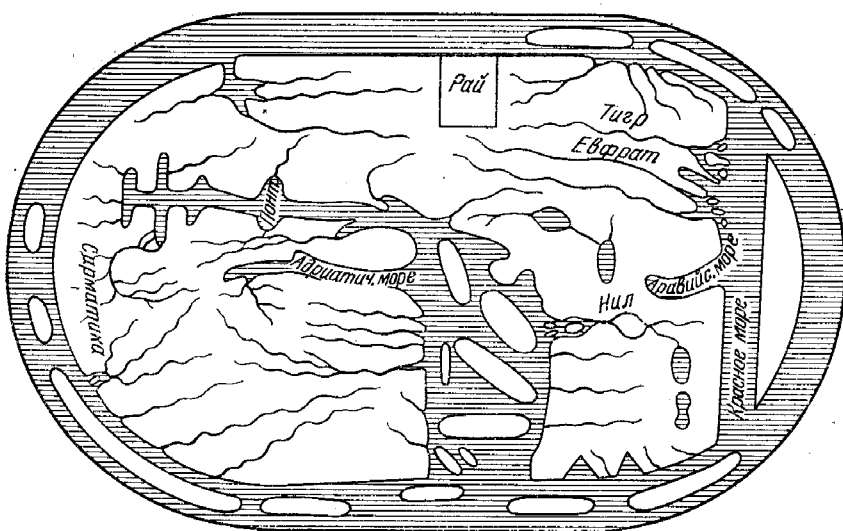
Азиатского материка находился и Христофор Колумб (1451—1506 гг.), двигаясь с востока на запад, он открыл Кубу и Гаити, а в 1498 г., свое третье плавание, достиг побережья Южной Америки. Колумб, несколько не сомневаясь в том, что им открыто западное побережье Индии, и всецело находясь под влиянием сочинения кардинала П. де Аий «Imago mundi» («Образ мира», 1410), в котором разделялось библейское утверждение о преобладании суши над морем, писал после своего третьего плавания: «Что касается безводности Земли, то опыт показал, что она гораздо значительнее, чем это представляют себе люди непросвещенные» (Путешествия Христофора Колумба, 1956, стр. 395). После четвертого плавания, ссылаясь на свой опыт и священное писание, он утверждал: «Мир мал. Из семи частей его — шесть заняты сушей и только седьмая покрыта водой» (там же, стр. 462).

В 1497 г. итальянский мореплаватель Дж. Кабот (ок. 1455—1498 или 1499 гг.) достиг Северной Америки, ошибочно, подобно Колумбу, полагая, что он нашел дорогу в Восточную Азию.

Фактическое расширение знаний о Земле благодаря открытию нового континента под влиянием церковных авторитетов было неправильно истолковано в пользу ошибочного мнения о незначительности водных пространств сравнительно с сушей.



Р и с. 15. Географические представления Козьмы Индикоплова



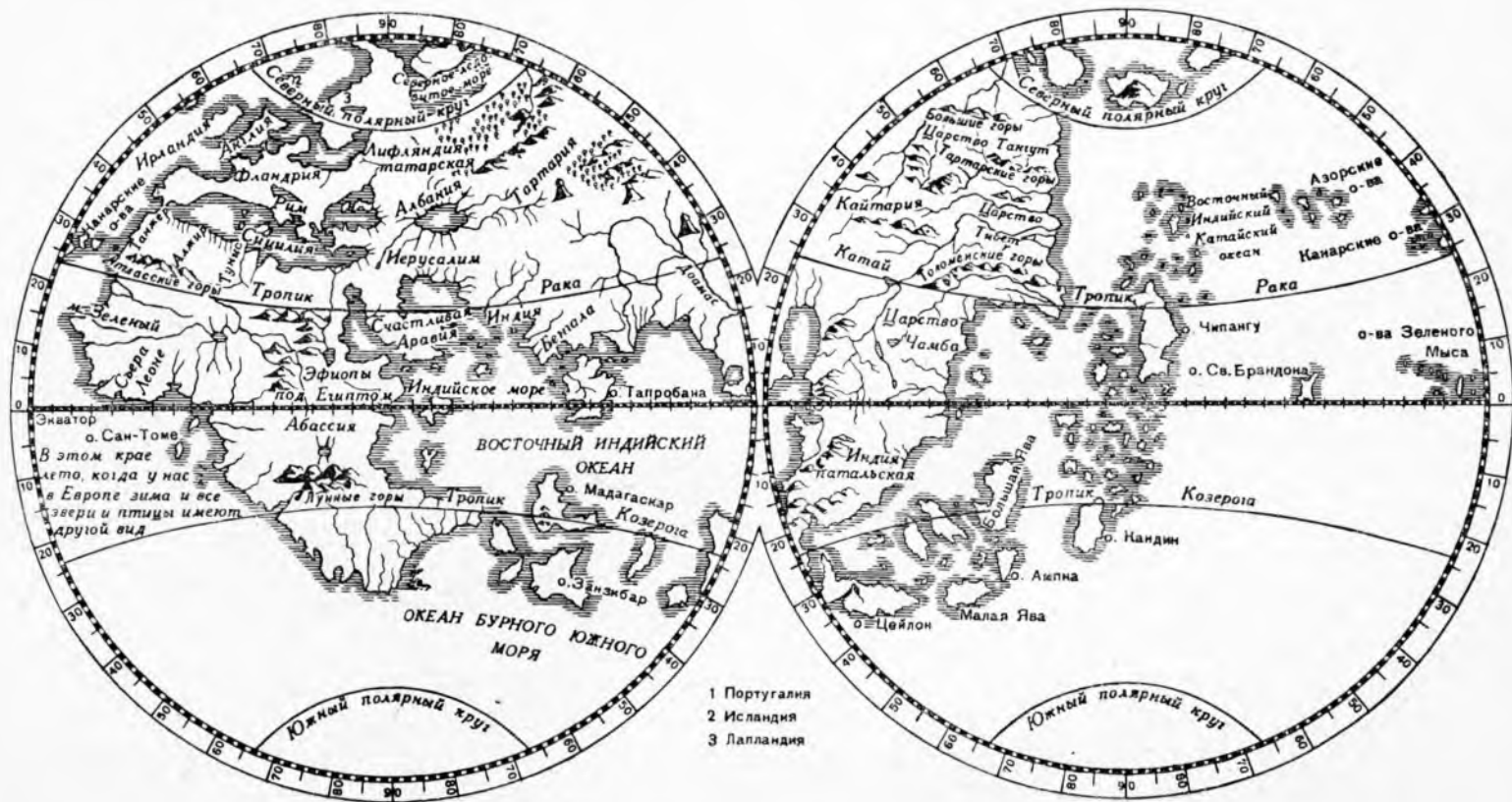
Р и с. 16. Схема карты Беата (ориентирована на восток)

Однако это мнение вскоре было убедительно опровергнуто тремя последовавшими друг за другом плаваниями. Экспедиция португальца Васко да Гамы (1469—1524 гг.), обогнув в ноябре 1497 г. мыс Доброй Надежды, в мае 1498 г. бросила якорь недалеко от индийского города Каликута. Это плавание, установившее береговую линию Африки на всем ее протяжении, «окончательно доказало, что Африка нигде не связана с «Южным материком», Terra Australis как бы отошла далеко на юг, в неизвестные пространства высоких широт южного полушария» (Антошко, Соловьев, 1962, стр. 100).

В сентябре 1513 г. испанский конкистадор В. Бальбоа (ок. 1475—1517 гг.) в поисках богатств пересек Панамский перешеек, вышел на западный берег Панамы и открыл для европейской географии Тихий океан.

Великим географическим событием явилось осуществленное в 1519—1521 гг. под руководством португальского мореплавателя Ф. Магеллана (ок. 1480—1521 гг.) первое кругосветное плавание.

Экспедицией Магеллана окончательно были доказаны шарообразность Земли и преобладание океанов и морей над сушей. В результате экспедиций, проведенных в 1492—1522 гг., карта известного до того мира была расширена почти на целое полушарие.



Р и с. 17. Глобус Мартина Бехайма

В атласе А. Ортелия «Театрум Орбис террарум», относящемся к 1570 г., грубые неточности можно видеть уже только в северной части Тихого океана и в высоких северных и южных широтах.

Результатом предприимчивости и мужества русских землепроходцев явилось установление в XVII в. европейских и азиатских границ Северного Ледовитого океана и восточной границы Азии. Известно также, какой большой вклад в изучение арктического района внесли экспедиции отважных западноевропейских путешественников (Дж. Дэвиса, В. Баренца, Г. Гудзона и др.), относящиеся к концу XV — началу XVII в. Большое значение для океанографии имела проведенная в первой половине XVIII в. русская Великая Северная экспедиция, особенно плавание В. Беринга (1680—1741 гг.) и А. И. Чирикова (1703—1748 гг.) в Беринговом море в 1728—1729 гг. и в северной части Тихого океана в 1741—1742 гг. В 1770 г. английский мореплаватель Дж. Кук (1728—1779 гг.) открыл восточный берег Австралии, остававшийся неизвестным в течение целого столетия после того, как западный берег уже был нанесен на карту. Важнейшим результатом его новой экспедиции, длившейся с 1772 по 1775 г., явилось доказательство того, что южного континента огромного, как считалось, размера не существует.

Проведенная в 1819—1821 гг. русская экспедиция на судах «Восток» и «Мирный» под руководством Ф. Ф. Беллинсгаузена (1778—1852 гг.) и М. П. Лазарева (1788—1851 гг.) установила границу неподвижных материковых льдов Антарктики.

Русские океанографы всегда проявляли интерес к исследованию Мирового океана. Большой вклад в развитие океанографии внесли широко известные русские кругосветные плавания, совершенные в 1803—1806 гг. И. Ф. Крузенитером и Ю. Ф. Лисянским, в 1806—1813 и 1817—1819 гг. В. М. Головным, в 1813—1816, 1822—1825 гг. М. П. Лазаревым, в 1815—1818 и 1823—1826 гг. О. Е. Коцебу, в 1826—1829 гг. Ф. П. Литке. Всего же в 1803—1850 гг. русские мореплаватели совершили 38 кругосветных плаваний. В историю океанографии вошли имена ряда русских исследователей, проводивших в разные годы XIX в. значительные работы в различных частях Северного Ледовитого и Тихого океанов. Большое внимание обратили на себя ценные научные результаты океанографических исследований, проведенных в 1886—1889 гг. в Тихом океане адмиралом С. О. Макаровым (1848—1904 гг.) на корабле «Витязь». О научной важности этих исследований Макарова свидетельствует, в частности, тот факт, что название «Витязя» обозначено на фронтоне Монакского океанографического музея среди десяти наиболее отличившихся в океанографических исследованиях судов всего мира. Но первое всестороннее исследование Мирового океана по заранее разработанной на научных основах программе принадлежит английской экспедиции на корвете «Челленджер» («Вызывающий»), проведенной в 1872—1876 гг. Начав путешествие в декабре 1872 г., корвет прошел по Атлантическому, Индийскому и Тихому океанам 69 000 миль. После трех с половиной лет плавания экспедиция в мае 1876 г. возвратилась на родину. Научным руководителем экспедиции был шотландский естествоиспытатель У. Томсон, а добытые ею материалы были обработаны под руководством крупнейшего океанографа Дж. Меррея (1841—1914 гг.) и изданы в 1880—1895 гг. в 50 больших томах, содержащих ценнейшие сведения о первых надежно измеренных больших глубинах, о донных грунтах, о направлениях течений на различных глубинах, о растительном и животном мире океанов и др.

Плаванием «Челленджера» было положено начало планомерному, научно организованному изучению океанов и морей. Наблюдения «Челленджера» были выполнены на 360 глубоководных станциях, рассеянных по всему Мировому океану на площади 140 млн. кв. миль.

Считалось, по-видимому, по принципу симметрии, что и на Северном полюсе Земли существует континент. Это ошибочное мнение было опро-

вергнуто, но не ранее, как в 1893 г., когда судно знаменитого норвежского исследователя Ф. Нансена (1861—1930 гг.), намеренно оставленное им дрейфовать во льдах, было отнесено из одной части океана в другую.

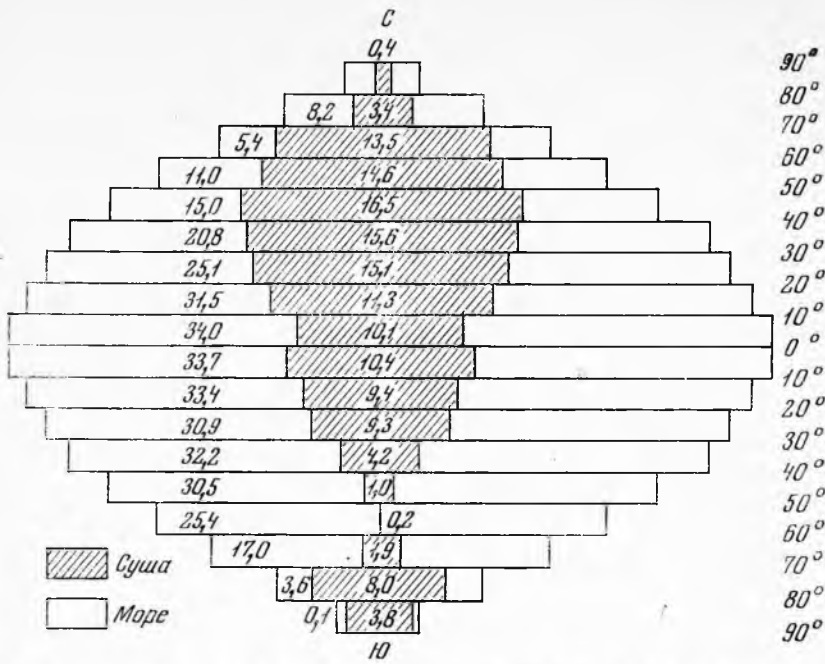
Впервые в 1903—1906 гг. Р. Амундсен (1872—1928 гг.) прошел северо-западным морским путем, а в 1909 г. Р. Пири (1856—1920 гг.) достиг Северного полюса. Экспедиция под руководством Б. А. Вилькицкого (1885—1961 гг.), открывшая в 1913 г. Северную Землю, в 1914—1915 гг. впервые с востока на запад прошла северо-восточным морским путем.

К концу XIX в. были установлены относительно правильные очертания и размеры океанов и континентов, за исключением Антарктиды. Австрийский геоморфолог А. Пенк (1858—1945 гг.) писал в 1894 г., что «распределение воды и суши в антарктической области еще неизвестно» (Penck, 1894, стр. 127). Но в 1946—1957 гг. работами американской экспедиции под руководством Р. Берда были установлены и границы Антарктиды. Южный полюс был достигнут в 1911 г. Р. Амундсеном и в 1912 г. Р. Скоттом (1868—1912 гг.).

Мировые карты, изданные после атласа Ортелия, еще долго оставались недостаточно точными, чтобы можно было определить по ним действительное соотношение между сушей и океаном. Б. Варений (1622—1650 гг.) в своей «Географии генеральной», выпущенной в Амстердаме в 1650 г. (в России впервые была издана в 1718 г.), для подсчета объема воды в океане принимает, что океан занимает половину поверхности земного шара. Из этого же условия при определении количества океанической воды и речного стока исходили К. Кларамонс (40-е годы XVII в.), Дж. Риччиоли (Ricciolio, 1661), Ж. Бюффон (1745 г.), И. Кант (1754 г.), В. Г. Крафт (1764). В конце XVIII в. Т. Бергман писал, что хотя  $\frac{3}{4}$  поверхности земного шара точно не известны, нельзя сказать, чтобы «они совсем были покрыты водою», и он, вычисляя объем воды, испаряемой океаном, принимал отношение суши к морю как 1:1 (Бергманново естественное землеописание, 1791, стр. 6 и 119). Следует, конечно, помнить, что на картах того времени существовали мифические южный и северный континенты. В последующем отношение площадей суши и океана определял ряд ученых. Приведем результаты, полученные некоторыми из них: результат английского ученого Дж. Гершеля — 1:2,86 (Клэден, 1875, стр. 80), его соотечественника С. Риго — 1:2,76 (Rigaud, 1837), немецкого географа Бергхауза (1837—1839 гг.) — 1:3 (Росмэслер, 1862, стр. 298). А. Гумбольдт писал в 1844 г.: «В настоящем состоянии нашей планеты поверхность земли содержится к поверхности жидкого элемента, как 1 к  $2\frac{4}{5}$ » (Гумбольдт, I, 1866, стр. 261). В «Физическом землеведении» М. С. Хотинского указывается, что суша занимает  $\frac{1}{4}$  всей земной поверхности, а  $\frac{3}{4}$  покрыто океанами и морями (Хотинский, 1852, стр. 222). Не приводя дальнейших уточнений соотношения моря и суши, укажем, что в настоящее время оно принимается как 1:2,43. В. И. Вернадский, придавая большое значение точному определению этого отношения, писал: «Любопытно, что 2,4—2,5 близко к отношению удельных весов океана (около 1,04, учитывая изменение удельного веса с глубиной благодаря сжатию) и верхней части континентов — до средней глубины океана 3,8 км» (Вернадский, IV, 2, стр. 57). Очевидно, что знание того, как относятся между собой площади суши и океана и как менялось это отношение в ходе развития земной поверхности, весьма существенно для выяснения изменений в интенсивности планетарных процессов, прежде всего процессов, составляющих круговорот воды на Земле. Заметим, что еще А. А. Тилло писал, что «вес воды довольно близко равен весу всей суши, поднимающейся со дна среднего океана» (Тилло, 1889).

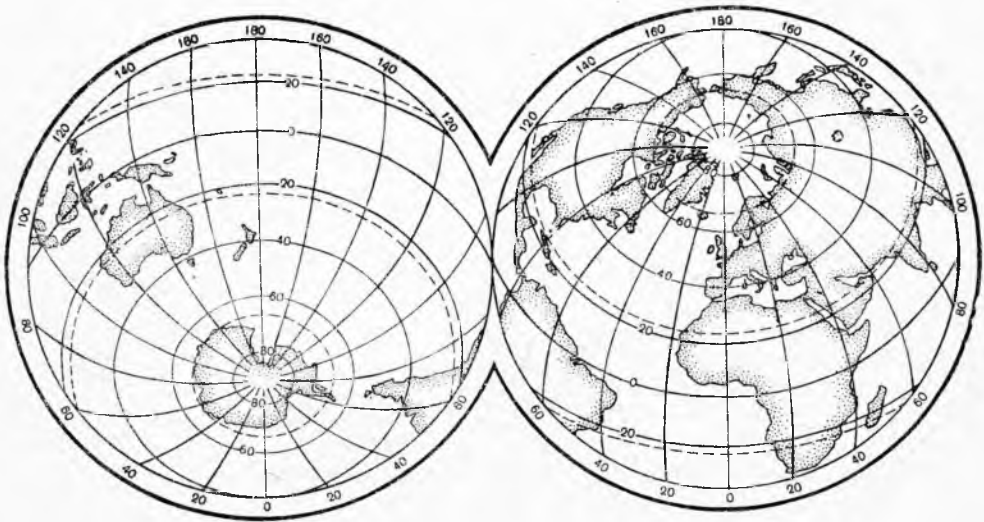
Одним из показателей изученности очертаний материков и океанов является длина береговой линии. По определению Клэдена, она равнялась 170 тыс. км, совсем недавно ее считали равной примерно 370 тыс. км (см. Нейс, 1972). По последним измерениям, произведенным сотруднича-





Р и с. 18. Диаграмма распределения суши и океана по зонам земного шара, по Л. П. Шубаеву

Числа — площади суши и моря, млн. км<sup>2</sup>



Р и с. 19. Океаническое и материковое полушария Земли

ми Московского государственного университета на основе издаваемой силами стран — участниц СЭВ Международной карты мира в масштабе 1 : 2 500 000, величина общей протяженности береговой линии Мирового океана более чем удвоилась — она оказалась равной 777 тыс. км (Лукьянова, Холодилиц, 1975).

Характерной чертой распределения суши и моря на Земле является дисимметрия, а именно сосредоточение суши в северо-восточном полушарии, а океана в юго-западном. На эту важную черту lika Земли впервые обратил внимание в 1798 г. французский гидрограф К. де Флерье. Дисимметрия в распределении суши и океанов на поверхности Земли показана на рис. 18. В северном полушарии суша занимает 60,5%, океаны 39,5% поверхности, а южном — соответственно 18,8% и 81,2%. Карту земного шара можно представить в виде океанического полушария с полюсом южнее Новой Зеландии и материкового полушария с полюсом на острове Дюмэ, недалеко от устья Лауры (рис. 19). При таком выборе полюсов в океаническом полушарии будет 89,5% океана и 10,5% суши, а в материковом — соответственно 53,5% и 46,5%.

Отметим, что самое недавнее уточнение топографических характеристик земной поверхности (и глубин, о чем — ниже) было произведено в Ленинградском университете. По новым данным, суша и океан занимают в северном полушарии соответственно 60,7 и 39,3% и в южном — 81,0 и 19,0%. В абсолютных значениях в северном полушарии океан занимает 154,726 млн. км<sup>2</sup>, суша — 100,334 млн. км<sup>2</sup>, в южном — соответственно 206,576 и 48,484 млн. км<sup>2</sup>; в целом же на океан приходится 361,302 и на сушу 148,818 млн. км<sup>2</sup>.

## МИРОВОЙ ОКЕАН

Несомненно, первые измерения небольших прибрежных глубин морей и океанов относятся к далекой древности. В истории географии зафиксированы лишь отдельные случаи измерения больших глубин. Один из них, согласно Плинию Старшему, — измерение глубины 1800 м вблизи о. Сардиния. Оно приписывается философу, историку и географу Посидонию (ок. 135—50 гг. до н. э.), но было ли это действительное измерение или определение глубины косвенными методами — неизвестно (Каррингтон, 1966, стр. 196).

Как замечал А. Тилло, сведения Аристотеля, Посидония, Плиния о глубинах морей были совершенно ничтожны; не менее смутные представления о морских глубинах имелись и у арабских географов (Тилло, 1889).

Первая известная попытка измерения глубины океана, к которой, как считал Дж. Меррей, можно приложить эпитет «научная» (Миггау, 1912), была сделана в 1521 г. Магелланом в Тихом океане между о-вами св. Павла и о. Тибурон. Так как его короткий лот, связанный из шести линий, не достиг дна, он заключил, что им обнаружено самое глубокое место океана.

Малые глубины впервые были показаны на картах де ла Коза в 1504 г. и Г. Меркатора в 1585 г.

Венецианец Л. Марсилли в своей «Физической географии моря» (1711 г.), как отмечал Тилло, впервые высказал мысль, что все моря имеют дно и что между высотой суши и глубиной моря существует определенная связь. К 1737 г. относится карта французского географа Ф. Бюаша, на которой он попытался представить рельеф дна океана посредством изобат. Первая цифровая оценка средней глубины Мирового океана — 1000 м — была сделана в 1825 г. П. С. Лапласом, который теоретически вывел ее из высоты приливов. Близкое к достоверной величине фактическое измерение большой глубины произвел в 1840 г. английский капитан

Дж. К. Росс. Его лот, опущенный в точке  $29^{\circ}26'$  ю. ш. и  $17^{\circ}29'$  з. д., достиг глубины 2425 морских саженей, т. е. более 4400 м.

Измерение больших глубин даже в середине XIX в. являлось делом еще весьма сложным, и А. Гумбольдт писал в 1845 г. о «Космосе», что мы так же мало знаем о морских глубинах, как и о высоте атмосферы.

Несовершенство приборов и способов измерения больших глубин сказывалось прежде всего в том, что трудно было заметить момент прикосновения прибора ко дну, из-за чего получались преувеличенные значения измеренных глубин. Так, с брига США «Дельфин» в 40-х гг. в средней части Атлантического океана было выпущено 12 тыс. м линия, но дно достигнуто не было. Дж. Дейман измерил в Атлантике в те же годы с английского военного корабля «Герольд» глубину 14 тыс. м, а с фрегата США «Конгресс» была найдена у берегов Бразилии глубина более 15 тыс. м. Но измеренные в тех же местах с судов «Челленджер» и «Газелла» глубины оказались равными 4400 и 5300 м (табл. 6).

Усиление глубоководных исследований в связи с возникшим в середине XIX в. проектом прокладки трансатлантического кабеля, а в начале 70-х годов кабеля между Америкой и Азией потребовало усовершенствования методов измерения глубин. В 1854 г. американским лейтенантом Дж. Бруком был изобретен лот с отделяющимся грузом, усовершенствованный в 1857 г. Дейманом. В 1872 г. В. Томсоном был предложен лот с динамометром, в котором пеньковый линь был заменен проволокой. Новые лоты получили применение при измерении глубин на «Челленджере», на американском судне «Тускарора», курсировавшем в 1873—1879 гг. вдоль американских берегов Тихого океана и по северной и южной линиям намечавшейся прокладки кабеля между Калифорнией и Японией, и на немецком корвете «Газелла», измерявшем в 1874—1876 гг. океанические глубины.

В 1854 г. американский океанограф М. Мори опубликовал первую карту глубин Атлантического океана от  $10^{\circ}$  ю. ш. до  $52^{\circ}$  с. ш. с изолиниями, проведенными по точкам с глубинами 1000, 2000, 3000 и 4000 морских саженей.

Но основные сведения о глубинах Атлантического, как и Индийского и Тихого, океана были доставлены английской кругосветной экспедицией на корвете «Челленджер».

Добытые экспедициями данные о морских глубинах позволили русскому океанографу М. А. Рыкачеву (1840—1919 гг.) составить и в 1881 г. опубликовать «Карту рельефа дна океанов и морей всего света» в масштабе 1000 морских миль в одном дюйме — одну из первых карт подобного рода (Рыкачев, 1881). В статье М. А. Рыкачева приведены данные о наибольших, измеренных до 1875 г. глубинах океанов.

В 1889 г. А. А. Тилло (1839—1899 гг.) опубликовал исследование относительно средней высоты суши и средней глубины океанов.

Ниже приводится часть таблицы А. А. Тилло, в которой им сведены данные о высотах суши и глубинах морей нескольких западноевропейских исследователей, а именно часть, относящаяся к морским глубинам, и результаты его собственных исследований (с некоторыми дополнениями) (табл. 7).

В 1912 г. карты глубин океанов были опубликованы немецким океанографом М. Гроллем.

С начала текущего столетия издается карта глубин Мирового океана, созданная и уточняемая трудами Международного гидрографического бюро в Монако.

Приблизительные размеры материка южной полярной области стали известны лишь к концу XIX в.; только с этого времени оказалось возможным основанное на данных измерений определение площадей океанов, объемов воды в них и их средних глубин. Но имелись и более ран-

Таблица 6. Наибольшие глубины океанов, измеренные до 1875 г.

Океаны	Координаты		Глубина, м	С какого судна измерена	Год измерения
	широта	долгота			
Атлантический	19°41'	65°7'	7090	«Челленджер»	1873
Тихий	44°55'	152°26'	8520	«Тускарора»	1874
Индийский	16°41'	117°32'	5525	«Газелла»	1875
Северное полярное море	78°30'	2°30'	4850	«София»	1868

Таблица 7. Средние глубины океанов, определенные до 1889 г.

Автор определения	Год	Средняя глубина, м					Мирового океана
		Тихого океана	Атлантического океана	Индийского океана	морей северного полушария	морей южного полушария	
С. Лаплас	1825	—	—	—	—	—	1000
Э. Реклю	1867	—	—	—	—	—	5000
О. Пешель	1868	—	3795 *	—	—	—	—
У. Томсон	1874	—	—	—	—	—	3658
А. Зупан	1878	3368	—	—	—	—	—
О. Крюммель	1879	3887	3681	3344	—	—	3440
А. Лапаран	1883	—	—	—	—	—	4260
Дж. Меррей	1888	4526	4087	4181	—	—	3804
А. Пенк	1889	3870	3290	3590	—	—	3650
А. Зупан	1889	3870	3330	3600	—	—	3650
А. Тилло	1889	4380	4022	3674	3627	3927	3803

\* Северная часть океана.

ние попытки определения объемов воды в океане в целом. Укажем на некоторые из них, начиная с подсчета, произведенного Б. Варением в его «Географии» (1650 г.).

Варений исходит из того, что поверхность океана занимает половину поверхности Земли, площадь которой равняется 18 813 353,6 кв. мили (голландской, равной 5,2 км). Неизвестно, пишет он, что находится в полярных областях — земля или вода. Среднюю глубину океана он совершенно произвольно (но с удачным приближением к действительности) принимает равной полумиле, т. е. 2,6 км. Из этих величин объем воды получается равным приблизительно 650 млн. км<sup>3</sup>. О количестве подземных вод Варений говорит, что оно совсем неизвестно.

Примерно к тому же времени относится подсчет объема воды в океане, произведенный К. Кларамонсом. Приняв радиус земного шара равным 3075 милям, он определил объем Земли в 117 142 218 733 куб. мили. Считая, что океаны покрывают менее половины поверхности Земли, имея среднюю глубину, равную полумиле, он приходит к выводу, что объем воды в океанах составляет максимум 1/2000 часть объема Земли, т. е., следовательно, примерно 58 млн. куб. миль, или около 560 млн. км<sup>3</sup> (поскольку миля у Кларамонса около 2 км). Он заключает, что широко распространенное мнение, что будто бы масса морской воды в 10 раз больше массы Земли, ошибочно (см. Wisotzki, 1897, стр. 32).

Приведем далее определение количества воды в океане, принадлежащее Ж. Бюффону (1745 г.). «Ежели,— пишет он,— угодно иметь поня-

тие о великом множестве воды, в морях содержащейся, то полагая, что обыкновенная и общая глубина во всем океане простирается на двести сажен или на десятую часть мили, то выйдет на Земли такое количество воды, что может покрыть весь земной шар и простираться выше Земли на шесть сот футов. Ежели сие количество воды собрать в одно место, то она составит шар в поперешике больше шестидесяти миль» (Бюффон, I, 1789, стр. 203).

Подсчитаем по данным, принимаемым Бюффоном, объем воды в океане. Сажень, или, по оригиналу, туаз (Buffon, 1855, стр. 112), составляла тогда около 1,95 м (Крафт, 1764, стр. 17), а милю (лье) Бюффон брал равной 2000—2100 туазам, т. е. от 3,8 до 4 км. Парижский фут приблизительно равняется 0,325 м. Поверхность земного шара определялась Бюффоном около 500 млн. км<sup>2</sup>, распределяясь поровну между сушей и океаном. Произведение площади поверхности океана на его среднюю глубину или произведение площади поверхности Земли на шестьсот футов дают объем, равный примерно 100 млн. км<sup>3</sup><sup>1</sup>. Шар такого объема должен иметь диаметр в 144 четырехкилометровые мили. Таким образом, Бюффон получил объем воды в океане весьма заниженным. Преуменьшив этот объем и преувеличив, как мы увидим в главе IV, годовой объем стока рек земного шара, Бюффон пришел к заключению, что для наполнения океана речным стоком достаточно 812 лет.

Бюффон писал, что «количество подземных вод, не имеющих исхода на поверхность шара земного, весьма невелико» (Бюффон, 1789, стр. 121), ибо проникнувшие в почву воды неминуемо находят себе выход в виде ключей.

И. Кант при определении объема воды в океане среднюю глубину океана принимал равной только 100 сажням. У него получалось, что реки могли бы наполнить океан «только за 600 лет, после того как испарение высушило бы его до дна за такое же время» (Кант, 1963, стр. 104).

В русской научной литературе первое вычисление объема воды в океане мы находим в географическом курсе академика В. Г. Крафта (1701—1754 гг.) «Руководство к математической и физической географии с употреблением земного глобуса и ландкарт», вышедшем на русском языке первым изданием в 1739 г., вторым — в 1764 г. (на немецком языке — в 1738 г.).

Крафт считал, что воды покрывают половину поверхности земного шара, а среднюю глубину океанов принимал равной четверти английской мили, т. е. 0,475 км. Объем воды получается равным 125 млн. км<sup>3</sup>. Крафт отмечал, что «земной шар содержит в себе в 9149 раз больше твердой материи, нежели морской воды» (Крафт, 1764, стр. 308).

Мы видим, что объемы воды в океане, вычисленные в середине XVIII в., были еще очень далеки от действительных. Ныне известно, что Мировой океан содержит около 1370 млн. км<sup>3</sup> воды (по последним данным — 1338). Речным стоком этот объем может быть заполнен не за 812 или 600 лет, как думали Бюффон и Кант, а только примерно за 38 тыс. лет. Отношение объема «твердой материи» земного шара к объему океанической воды составляет не 9149 к 1, как полагал Крафт, а примерно 790 к 1.

Поскольку действительные глубины океанов до конца третьей четверти XIX в. были недостаточно известны, оставалось неизвестным и действительное количество воды в Мировом океане. Если Бюффон полагал, что воды океана могли бы покрыть всю поверхность Земли слоем толщиной 600 футов, то немецкий геолог Б. Котта писал: «...при равномерном рас-

<sup>1</sup> Здесь и на стр. 157 даются исправленные по сравнению с приведенными в нашей книге (Федосеев, 1967, стр. 48, 95) цифры подсчетов объема океана и речного стока, принадлежащих Бюффону и Крафту.

пределении всей земной воды на твердой эллипсоидальной поверхности нашей планеты глубина моря должна доходить приблизительно до 1100 футов» (Котта, 1859, стр. 67). В действительности же, как мы знаем, воды океана могли бы покрыть земной шар слоем глубиной 2686 м, т. е. 8800 футов.

Впервые близкая к действительной величина объема воды в Мировом океане — 1284 млн. км<sup>3</sup> — была вычислена в 1879 г. немецким океанографом О. Крюммелем (Krümmel, 1879).

Сведения о размерах океанов, накопленные к концу XIX в., получили обобщение в статье Ю. М. Шокальского «Океаны» (Шокальский, 1897). Из этой статьи мы берем данные о глубинах, площадях поверхности и объемах океанов, вычисленные в 1894 г. немецким океанографом К. Карстенсом (Karstens, 1894).

Таблица 8. Размеры океанов, по К. Карстенсу

Океан	Средняя глубина, м	Поверхность, км <sup>2</sup>	Объем, км <sup>3</sup>	Наибольшая глубина, м
Атлантический с его морями	3161	102 755 677	324 771 436	8341
Индийский с его морями	3593	74 139 588	265 989 805	6205
Тихий с его морями	3829	175 445 118	671 728 970	9427
Южное Ледовитое море	1500	15 630 000	23 445 000	7315
	3496	367 868 385	1 285 935 211	—

В этой таблице Южный Ледовитый океан еще не разделяется между тремя остальными. Северный Ледовитый океан, рассматриваемый как море Атлантического океана, отдельно характеризуется такими данными: средняя глубина — 818 м, площадь — 12 795 850 км<sup>2</sup>, объем — 10 464 590 км<sup>3</sup>.

В труде Дж. Меррея «Глубины океана» (Murray, 1912) объем воды Мирового океана определяется в 1300 млн. км<sup>3</sup>.

Между 1888 и 1910 гг. было произведено около 9570 измерений глубин океанов и морей, превышающих 1000 морских саженей (6000 футов, или 1829 м), из них в пределах (Меррей, 1923):

1000—2000 морских саженей	6000 измерений
2000—2000 »	3250 »
3000—4000 »	300 »
4000—5000 »	17 »
свыше 5000 »	3 »

С 1912 г., после гибели «Титаника», началась интенсивная разработка конструкций эхолотов и методов измерения ими морских глубин (Панов, 1963, стр. 10). На изданной в 1912—1927 гг. мировой батиметрической карте было нанесено 17 856 глубин (там же), в том числе и глубины, измеренные эхолотами. Океанографические материалы того времени получили обобщение в тщательно выполненной работе Э. Коссины «Die Tiefen Wellmeeres», опубликованной в 1921 г.<sup>1</sup>, данные которой были уточне-

<sup>1</sup> Г. Вюст, выступая по докладу автора книги на I Международном конгрессе по истории океанографии (Монако, 1966 г.), вспоминал, что он, молодой тогда ассистент в Берлинском институте морских исследований, был свидетелем того, как Коссинна более двух с половиной лет вел утомительные вычисления объема воды в океане (Bulletin..., 1968, стр. 107).

ны им в столь же обстоятельном очерке «Die Erdoberfläche», напечатанном в 1933 г. (Kossinna, 1933, стр. 886).

Мы приводим 98-ю таблицу из последней работы Э. Коссины, характеризующую основные размеры океанов с их морями (табл. 9).

Т а б л и ц а 9. Размеры океанов, по Э. Коссине

Океан	Площадь, млн. км <sup>2</sup>	Объем, млн. км <sup>3</sup>	Средняя глубина, м
Атлантический	106,5	354,7	3332
Индийский	74,9	291,9	3897
Тихий	179,7	723,7	4028
Мировой	361,1	1370,3	3795

Океанографические исследования получили большое развитие в послевоенное время. Ценные новые сведения о рельефе дна Мирового океана были доставлены американской экспедицией 1947—1948 гг. на «Альбатросе», английской 1950—1952 гг. на «Челленджере» и советской на «Витязе», продолжающейся с 1949 г. по настоящее время. Важные результаты получены также советскими экспедициями на судах «Обь», «Лена», «М. Ломоносов» и др. (Плахотник, 1970). Максимальная зарегистрированная глубина океана — 11 022 м — была измерена в 1959 г. советской экспедицией на «Витязе» в Марианской впадине<sup>1</sup>.

Интенсивное изучение Мирового океана ведется в настоящее время экспедициями многих стран.

Успехам в изучении рельефа дна океанов способствует совершенствование методов и средств исследований, в частности применение прецизионных регистраторов глубин, фотографирование участков дна. Так, в Акустическом институте АН СССР создана фотоустановка, снимающая участок площадью 32 м<sup>2</sup> (Ильин, 1972).

В 1961 г. В. Н. Степанов произвел новое уточнение размеров Мирового океана (Степанов, 1961). Он обобщил накопленные к 1961 г. материалы, в частности результаты проведенных к тому времени советских исследований в центральной части Северного Ледовитого океана. Глубины океанов уточнены по картам замечательного советского издания — Морского атласа 1953 г.

Что касается общего объема воды в океане, то подсчеты В. Н. Степанова не изменили величины, найденной Коссиной. Эта важнейшая характеристика Земли благодаря океанографическим исследованиям, проведенным главным образом за последние 100 лет, стала известной с большой точностью. Но уточнение этой, как говорил В. И. Вернадский, константы нашей планеты продолжается. В 1971 г. опубликованы результаты работы картометрической лаборатории кафедры картографии географического факультета Ленинградского университета по определению морфометрических характеристик Мирового океана и его частей. Участвовавший в этой работе Ю. С. Фролов пишет: «После опубликования работы можно будет полностью отказаться от использования сводок морфометрических данных, помещенных в таких устаревших работах, как известный труд Э. Коссины, или данных, полученных по мелко-

<sup>1</sup> Обнаружение английской экспедицией в 1962 г. вблизи Филиппин глубины 11 515 м позже английскими учеными было признано ошибочным. Однако американские авторы брошюры «Сто вопросов об океане» (Л., 1972) продолжают считать измененную англичанами максимальную глубину действительной.

масштабным картам, таких, как, например, опубликованные американскими учеными Менардом и Смитом» (Фролов, 1971). По подсчетам кафедры картографии ЛГУ, объем воды в Мировом океане оказался равным 1338 млн. км<sup>3</sup>, а его средняя глубина — 3704 м. Уменьшение объема по сравнению с подсчитанным Коссиной на 32 млн. км<sup>3</sup> объясняется открытием за последние десятилетия подводных плато, хребтов и других положительных форм рельефа.

В табл. 10 приводятся величины объема воды в Мировом океане, определенные в разное время.

Таблица 10. Объем воды в Мировом океане по подсчетам разных исследователей

Автор подсчета	Год	Объем, млн. км <sup>3</sup>	Отношение площадей суши и океана	Автор подсчета	Год	Объем, млн. км <sup>3</sup>	Отношение площадей суши и океана
К. Кларамонс	1644	560	1:1	К. Карстенс	1894	1286	1:2,6
Б. Варений	1650	650	1:1	И. Лукашевич	1911	1417	1:2,7
Т. Бернет	1681	40	1:1	Дж. Меррей	1912	1300	—
В. Крафт	1738	125	1:1	Э. Коссина	1921	1370	1:2,43
Ж. Бюффон	1745	100	1:1	В. Н. Степанов	1961	1370	1:2,43
И. Капт	1754	35	1:1	Р. Нейс	1964	1320	1:2,43
Б. Котта	1859	170	—	Г. Менард, С. Смит	1966	1350	1:2,43
Э. Реклю	1867	1500*	—	Кафедра картографии ЛГУ	1970	1338	1:2,43
О. Крюммель	1879	1284	1:2,6				

\* Реклю полагал (Reclus, 1870, стр. 497), что подсчитанным им речным стоком — около 31 тыс. км<sup>3</sup> в год — Мировой океан, имея среднюю глубину 5 км (?), мог бы наполниться... за 5 млн. лет. Исправляя ошибку в числе лет (повторяющуюся при переводе труда Реклю на английский — с увеличением до 50 млн. лет — и русский языки) на 50 тыс. лет, находим, что объем воды в океане Реклю определял числом более 1500 млн. км<sup>3</sup>, т. е. близким к действительному.

Итак, объем воды в Мировом океане наиболее близко к действительной величине выражается ныне числом  $1338 \cdot 10^6$  км<sup>3</sup>. Но чтобы определить массу океанической воды, необходимо учесть ее соленость, составляющую в среднем для всего океана 35 г/л. Следовательно, масса воды в Мировом океане по последним подсчетам составляет около  $1385 \cdot 10^{15}$  т. Как отмечает В. И. Вернадский, Р. Бойль еще в 1674 г., изучая химический состав морской воды, признал соленость моря исконным явлением, учитывая при этом и принос солей реками в результате выщелачивания суши. Определенная Бойлем средняя соленость океана отличается от современной всего на 1%.

Укажем, что за три десятка лет до Бойля Р. Декарт писал, что в море «всегда пребывает одинаковое количество соли» (Descartes, VIII, 1905, стр. 244).

Первые количественные сведения о химическом составе морской воды, полученные из анализа 77 проб, взятых экспедицией «Челленджера» в разных частях океана с различных глубин и опубликованных Дитмаром в 1884 г., показали, что на каждый литр морской воды приходится (в г) хлористого натрия 27,213, хлористого магния 3,807, сернокислого магния 1,658, сернокислого кальция 1,260, сернокислого калия 0,863, углекислого кальция 0,123, бромистого магния 0,076, что в сумме составляет 35 г/л. Таким образом, оказалось, что в морской воде растворены главным образом хлориды и сульфаты натрия, магния, калия и кальция, причем доля поваренной соли составляет 77,8%. Дж. Меррей, найдя подсчет Дитма-



Таблица 11. Состав главных ионов океанической воды

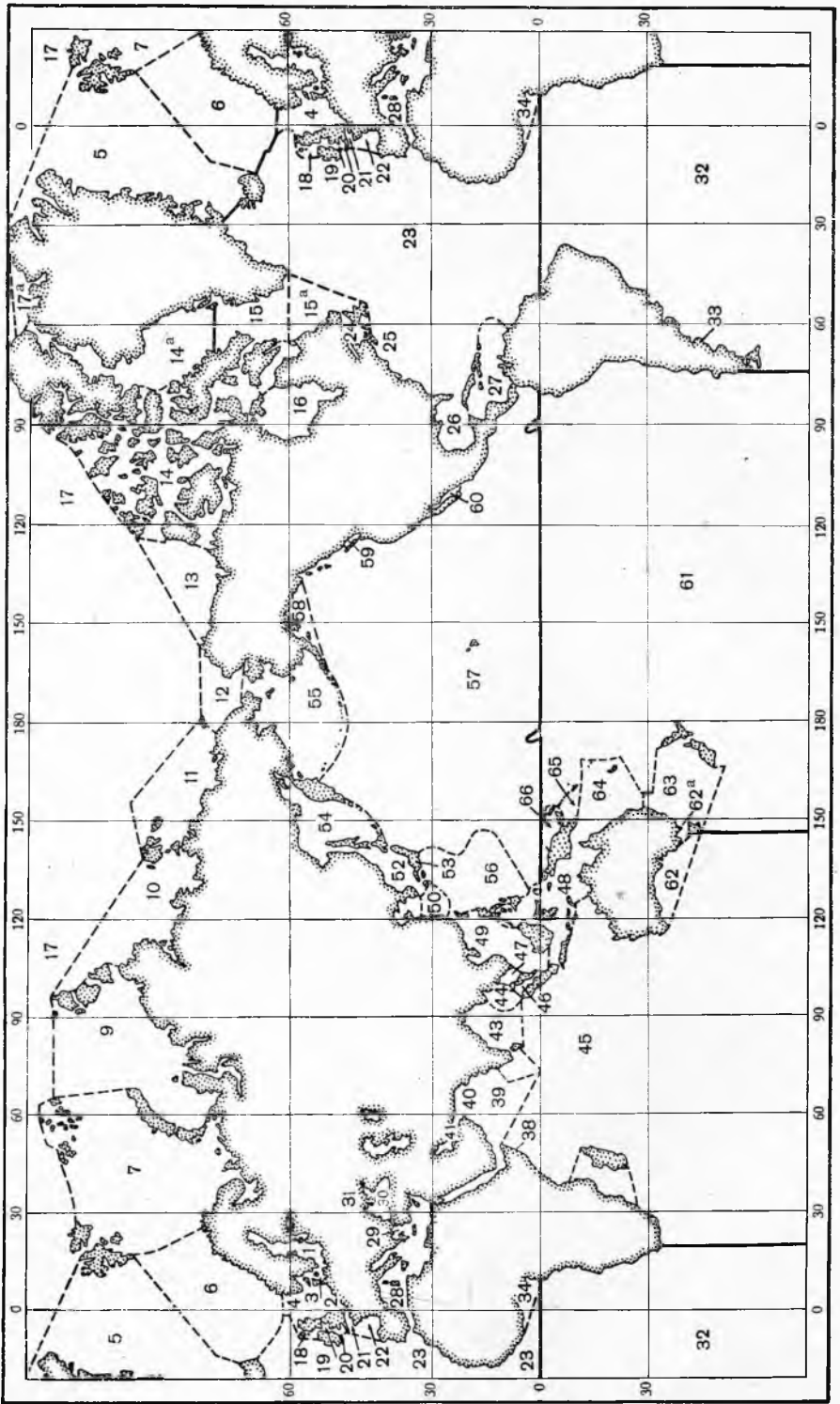
Компонент	Грамм на 1 кг морской воды (S=35%)		Компонент	Грамм на 1 кг морской воды (S=35%)	
	По Дж. Меррею (1887)	По С. В. Бруевичу (1966)		По Дж. Меррею (1887)	По С. В. Бруевичу (1966)
Na <sup>1+</sup>	10,722	10,7637	Cl <sup>1-</sup>	19,324	19,3534
Mg <sup>2+</sup>	1,316	1,2970	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2,696	2,7007
Ca <sup>2+</sup>	0,420	0,4080	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0,074	(0,0702)
K <sup>1+</sup>	0,382	0,3875	Br <sup>1-</sup>	0,066	0,0659

ра недостаточно точным, поскольку в действительности растворенные в морской воде вещества на 90% представляют собой ионы, указал на то, что химический состав морской воды следует определять по содержанию в ней ионов растворенных веществ, и в 1887 г. опубликовал результаты своих анализов, которые приводятся в табл. 11 в сопоставлении с современными данными.

Дж. Меррей подсчитал (1887), что реками ежегодно выносятся в океан около  $4500 \cdot 10^6$  т солей. Но результат определения, произведенного в 1910 г. Ф. Кларком, оказался равным  $2500 \cdot 10^6$  т (по подсчету 1924 г. —  $2750 \cdot 10^6$  т). Согласно А. Полдерварту (1957), с речными водами, имеющими среднюю соленость 0,146 части на тысячу, в океан ежегодно выносятся  $5402 \cdot 10^6$  т растворенных веществ. Из этого количества  $555 \cdot 10^6$  являются циклическими солями (ветровой вынос с брызгами воды, вынос с испаряющейся водой), а остальные  $4847 \cdot 10^6$  т представляют ежегодное пополнение массы растворенных веществ. Вместе с твердым материалом, поступающим в море в объеме  $12 \text{ км}^3$  в виде суспензии, в Мировой океан доставляется около  $38\,000 \cdot 10^6$  т минеральных веществ в год. Дополнительно поступление солей в океан происходит посредством выноса продуктов дегазации мантии на дне океана, ветрового вноса, растворения глибинных осадков, десорбции из взвесей. Согласно Полдерварту, в океане накопилось  $56\,256 \cdot 10^{12}$  т солей, не считая взвесей.

Химический состав океанической воды, говорит О. А. Алекин, в основном сформировался и стал, по-видимому, довольно близким к современному в конце палеозоя. Но он подвержен изменениям. «Однако, — пишет Алекин, — определить общую тенденцию этих изменений для всей огромной массы растворенных веществ в океане в целом практически невозможно. Солевая масса океана, составляющая  $56 \cdot 10^{15}$  т, настолько велика по сравнению с отдельными элементами баланса, что нужны сотни тысяч лет, чтобы были заметны ее изменения. Сравнивая общее количество хлоридных ионов в океане  $30\,976^{12}$  т с количеством их, выносимым ежегодно реками,  $228 \cdot 10^6$  т, можно рассчитать, что для изменения под влиянием существующего материкового стока содержания хлоридных ионов в океанской воде хотя бы на 0,02 г/кг, т. е. на величину предельной точности аналитического определения концентрации этих ионов, необходимо около 200 тыс. лет» (Алекин, 1970, стр. 330).

О. Герике и Р. Бойлем была доказана и растворимость воздуха, т. е. газов, в воде, количественно подтвержденная в 1690 г. И. Бернулли (1665—1708 гг.). Содержание газов в воде изучала экспедиция на «Челленджере». Наибольшее количество азота и кислорода было найдено ею в антарктических водах ( $23,58 \text{ см}^3/\text{л}$ ), минимум — в западной тропической части Атлантического океана ( $11,85 \text{ см}^3/\text{л}$ ). Не останавливаясь на многочисленных других исследованиях газового состава океана, скажем лишь, что объем всех растворенных в океанической воде газов составляет



$4,32 \cdot 10^{24}$  см<sup>3</sup> (при нормальном давлении и температуре), т. е. превышает объем воды в океане —  $1,37 \cdot 10^{24}$  см<sup>3</sup> — в 3 раза (Виноградов, 1967а, стр. 66.).

В заключение этого раздела остановимся коротко на вопросе о разделении Мирового океана на отдельные акватории — океаны, моря, заливы, бухты и проливы. Эти подразделения были впервые предложены в 1650 г. Б. Варением. Он делил Мировой океан на пять отдельных океанов: Тихий, Атлантический, Индийский, Северный Ледовитый и Южный Ледовитый. Позже Ф. Бюаш, занимаясь классификацией морей, выделил в 1745 г. три океана — Атлантический, Индийский и Великий и два ледовитых моря — северное и южное.

Каждый из трех океанов он в свою очередь подразделял на отдельные бассейны, исходя из предположения о существовании подводных горных цепей, примыкающих к большим мысам, где они соединяются с наземными горными хребтами. Деление, предложенное Варением, было принято в 1845 г. Лондонским географическим обществом, но ряд ученых, в том числе О. Крюммель (1879, 1907) и Ю. М. Шокальский (1917), считали более правильным деление Мирового океана на три океана — Тихий, Атлантический и Индийский. Северный Ледовитый океан был отнесен к Атлантическому океану, а Южный Ледовитый океан оказался поделенным между тремя океанами. В «Общей океанографии» Г. Дитриха (1962) принято деление Мирового океана на три океана. Меридиан мыса Игольный (20° в. д.) считается границей между Атлантическим и Индийским, меридиан мыса Южный на о. Тасмания (147° в. д.) — между Индийским и Тихим океанами. Границей между Тихим и Атлантическим океанами избрана кратчайшая линия, соединяющая мыс Горн, Южные Шетландские острова, о. Дисепшен и Землю Грейама. Поскольку северное полярное море включается в Атлантический океан, границей между Атлантическим и Тихим океанами является Берингов пролив. Во всех трех океанах пользуются экватором как линией разграничения частей полушфер, которые имеют собственные названия (Северо-Атлантический океан, Южно-Атлантический океан и т. д.). В статье об океане в «Британской энциклопедии» Мировой океан делится на семь океанов (выражение «семь морей», отмечается в статье, часто встречается в тру-

#### Р и с. 20. Подразделения Мирового океана, по Н. Н. Zubову и А. В. Эверлингу

1 — Балтийское море. Подразделения Балтийского моря: (а) Ботнический залив, (в) Финский залив, (с) Рижский залив; 2 — Каттегат, пролив и шхеры; 3 — Скагеррак, пролив; 4 — Северное море; 5 — Гренландское море; 6 — Норвежское море; 7 — Баренцево море; 8 — Белое море; 9 — Карское море; 10 — Море Лаптевых; 11 — Восточно-Сибирское море; 12 — Чукотское море; 13 — Море Бофорта; 14 — Северо-Западные проливы; 14-а — Баффинов залив; 15 — Денисов пролив; 15-а — Лабрадорское море; 16 — Гудзонов залив; 16-а — Гудзонов пролив; 17 — Северный Ледовитый океан; 17-а — Море Линкольна; 18 — Внутренние моря около западного побережья Шотландии; 19 — Ирландское море и пролив Святого Георга; 20 — Бристольский пролив; 21 — Пролив Ла-Манш; 22 — Вискайский залив; 23 — Северная часть Атлантического океана; 24 — Залив Святого Лаврентия; 25 — Залив Фанди; 26 — Мексиканский залив; 27 — Карибское море; 28 — Средиземное море; а — Западный бассейн (Гибралтарский пролив и т. д.), в — Восточный бассейн (Эгейское море и т. д.); 29 — Мраморное море; 30 — Черное море; 31 — Азовское море; 32 — Южная часть Атлантического океана; 33 — Ла-Плата (залив); 34 — Гвинейский залив; 35 — Суэцкий залив; 36 — Залив Акаба; 37 — Красное море; 38 — Аденский залив; 39 — Аравийское море; 40 — Оманский залив; 41 — Персидский залив; 42 — Лаккадивское море; 43 — Бенгальский залив; 44 — Андаманское море; 45 — Индийский океан; 45-а — Мозамбикский пролив; 46 — Малаккский и Сингапурский проливы; 47 — Сиамский залив; 48 — Восточно-Индийский архипелаг (Индонезия); 49 — Южно-Китайское море; 50 — Восточно-Китайское море; 51 — Желтое море; 52 — Японское море; 53 — Море Сето-Найкай, или Внутреннее Японское море; 54 — Охотское море; 55 — Берингово море; 56 — Филиппинское море; 57 — Северная часть Тихого океана; 58 — Залив Аляска; 59 — Прибрежные воды Юго-Восточной Аляски и Британской Колумбии; 60 — Калифорнийский залив; 61 — Южная часть Тихого океана; 62 — Большой Австралийский залив; 62-а — Вассов пролив; 63 — Тасманово море; 64 — Коралловое море; 65 — Соломоново море; 66 — Море Бисмарка

дах средневековых арабских географов) со следующими названиями, площадями и средними глубинами:

	Квадратные футы	Футы
Арктический	5 427 000	5 010
Северо-Атлантический	17 646 000	10 780
Южно-Атлантический	14 098 000	13 420
Северный Тихий	31 639 000	14 050
Южный Тихий	32 361 000	12 660
Индийский	28 400 000	13 002
Южный (Антарктический)	12 451 000	12 240

Более принятым является деление Мирового океана на четыре океана — Тихий, Атлантический, Индийский и Северный Ледовитый. Эти четыре океана, как наиболее высокие таксономические единицы, выделяются в разработанной Н. Н. Зубовым и А. В. Эверлингом и опубликованной в 1940 г. в приложении 6 к Большому советскому Атласу мира системе подразделений Мирового океана. Главным фактором для своей классификации Н. Н. Зубов и А. В. Эверлинг выбрали строение рельефа дна океана и установили границы различных акваторий по подводным водоразделам, т. е. реализовали идею Бюаша, но только на основе действительного знания рельефа океанического ложа. А. Д. Добровольский считает, что система, предложенная Н. Н. Зубовым и А. В. Эверлингом (рис. 20), «как наиболее четкая и объективная, может быть положена в основу классификации с перспективой дальнейших уточнений и улучшений (Добровольский, 1970, стр. 7).

В 1970 г. А. Шютцлер опубликовал в «*Petermanns geographische Mitteilungen*» статью «О границах океанов и их краевых морей», в которой дается исторический обзор деления Мирового океана и обсуждается вопрос о делении, границах акваторий и их названиях, принятых в изданной в 1969 г. в ГДР мировой карте «Названия и навигационные границы океанов и морей». В основу выделения частей океана на этой карте положен, как и в схеме Н. Н. Зубова и А. В. Эверлинга, морфологический принцип, но их схема не упоминается (Schützler, 1970).

## ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ СУШИ

### Гидрография суши земного шара

Реки и озера — важнейшие элементы географии земного шара. Речная сеть является замыкающим звеном в грандиозном природном процессе — круговороте воды на планете.

Изучение рек и озер началось на самой ранней стадии развития общества. Накопление знаний о них происходило в процессе не только освоения их в транспортных целях, но и постоянного и все более возрастающего активного вмешательства в естественный быт рек в целях защиты обжитых территорий от их губительных разливов и хозяйственного использования речных вод, прежде всего для орошения земель.

В «Истории» Геродота (V в. до н. э.) упоминаются или описываются многие реки известного в то время мира, ойкумены, включая Инд, восточнее которого знания древнегреческого историка и географа не шли. О занимаемой скифами равнине Геродот пишет, что по ней протекает «почти столько же рек, сколько каналов в Египте» (Геродот, 1972, стр. 199). И далее он называет восемь наиболее значительных, по его сведениям, рек, в том числе Дунай, Днестр, Днепр, Донец и их притоки. Волга Геродотом не называется, она впервые под названием Ра упоминается в «Географии» Птолемея (II в. н. э.). Ранние сведения о реках Индии получили отражение в многовековом сочинении «Махаб-Харата»

(IV в. до н. э.— первые века н. э.). О реках Китая уже есть сведения в историко-географическом произведении «Юйгун» (VIII—V вв. до н. э.); о главных речных системах Китая говорится в книге «Шуйцзин», относящейся к I—III вв. н. э. (Исаченко, 1971, стр. 21).

О Днепре Геродот говорит, что это «единственная река, да еще Нил», истоков которых он не может указать. Но что касается вопроса об истоках Нила, о чем Гораций писал: «...дивится Нил, что место рождения вод таит» (Гораций, 1933, стр. 168), — то окончательный ответ на этот вопрос был получен только много веков спустя, в XIX столетии.

Многовековая история непрерывного изучения речной сети и озер, продолжающегося и в настоящее время, нашла отражение во многих географических изданиях, в том числе, например, в трудах Дж. Томсона «История древней географии», (Томсон, 1953), Дж. Бейкера «История географических открытий и исследований» (Бейкер, 1950), И. П. Магидовича «Очерки по истории географических открытий» (Магидович, 1967).

Мы остановимся далее лишь на тех географических трудах, в которых впервые подводились итоги исследований по интересующим нас вопросам.

Первые статистические обобщения по гидрографии суши были сделаны немецкими географами Г. Бергхаузом (1797—1848 гг.) в его труде «Allgemeine Länder- und Volkenkunde» («Всеобщее земледведение и этнография»), вышедшем тремя томами в 1837—1839 гг., и Г. Клёденом (1814—1885 гг.) в его также весьма обширном сочинении, изданном впервые в 1858 г. и вышедшем на русском языке в переводе с третьего издания (1873 г.) под названием «Всеобщая география» в 1875—1876 гг.

У Бергхауза приводится перечень 26 наиболее крупных рек Азии и Америки с водосборными бассейнами от 600 тыс. км<sup>2</sup> (Колорадо, река в США и Мексике, действительный размер бассейна 428 тыс. км<sup>2</sup>) до 5315 тыс. км<sup>2</sup> (Амазонка, ныне ее бассейн считается равным примерно 7 млн. км<sup>2</sup>).

Немецкий автор Э. Росмэслер, приведя в своей книге «Вода» (1862) сведения Бергхауза о речных бассейнах, писал, что речные области Африки и Австралии почти неизвестны (Росмэслер, 1862).

Клёден дает список уже более 280 рек с площадями водосборных бассейнов от 770 км<sup>2</sup> (р. Штольц, впадающая в Балтийское море) до 7,2 млн. км<sup>2</sup> (Амазонка). Для всех рек Клёден указывает их длины и расстояния по прямой линии от истока до устья, оставляя под вопросом приводимые длины лишь Нила, Замбези и Ориноко. По его определению длина Нила — 820 географических миль (6085 км), ныне она считается равной 6500 км, так что определение было близким к действительной длине. Однако расхождения между данными двух немецких географов во многих случаях были весьма большими как в отношении длины рек, так и в отношении их бассейнов, причем даже для рек Европы, что показывается в табл. 12 и 13.

Довольно полный перечень рек Европы опубликовал в 1882 г. И. Стрельбицкий (Strelbitsky, 1882). Определенные Клёденом и им длины рек значительно расходились. Так, у Стрельбицкого длины оказывались меньше, чем у Клёдена: Тиссы — на 430 верст, Гвадианы — на 307, Роны — на 305, По — на 262, Дуная — на 210, Эльбы — на 203, Одера — на 200 верст. В опубликованной в 1883 г. работе «О длине рек Европейской России» А. А. Тилло отмечает серьезные расхождения в определениях длины двадцати европейских рек, произведенных десятью исследователями в 30—50-х годах XIX в., а именно рек Дуная, Рейна, Эльбы, Таго, Луары, Дуро, Эбро, Роны, Сены, Одера, Гвадалквивира, По, Жиронды, Гломепна, Гвадианы, Марицы, Тиссы, Савы, Дравы, Мозеля<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Очевидно, и 100 лет спустя со времени письма М. В. Ломоносова Академии наук (стр. 75) все еще имелись основания говорить о недостаточной изученности речной сети даже развитых европейских стран.

Таблица 12. Длины некоторых рек мира, км

Река	По Бергхаузу		По Клёдену		Действительная длина
	Длина	Расстояние от истока до устья	Длина	Расстояние от истока до устья	
Миссисипи — Миссури	6670	2650	6820	2820	Около 7000
Енисей	5250	2300	4000	2630	3487
Нигер	4870	1900	4000	1855	4160
Нил	4200	2470	5350	4185	6500
Волга	3820	1125	3420	1620	3688
Инд	3670	2045	3090	1620	3180
Колумбия	2520	1080	2260	964	2250
Амударья	2620	1530	1725	1445	1415
Нева	830	595	70	45	74
Прегель (Преголя)	187	112	237	155	125

Таблица 13. Площади бассейнов некоторых рек Европы и других частей света, тыс. км<sup>2</sup>

Река	По Бергхаузу	По Клёдену	По современным данным	Река	По Бергхаузу	По Клёдену	По современным данным
Рейн	229	165	218,8	Хуанхэ	1890	1020	745
Неман	113	92,5	98,1	Макензи	1550	1035	1760
По	105	73	75	Ганг	1520	1040	2000
Сена	79,3	61,6	78,7	Саскачеван	1264	335	300
Везер	46	4(?)	46	Иравади	1160	255	430
Миньо	41,6	17	22,5	Инд	1095	818	960
Гаронна	8,55(?)	79,5	85	Святого	1045	1295	1248
Амазонка	5300	7200	Более 7000	Лаврентия			
				Евфрат	687	324	673

Не только статистические, но и гидрологические знания о реках получили обобщение в известном труде Э. Реклю «Земля» (1872). Крупным вкладом в изучение рек явилось капитальное сочинение А. И. Воейкова «Климаты земного шара, в особенности России» (1884), заложившее основы научной гидрологии.

Речная сеть земного шара отображена на многих международных географических картах, начиная с Международной миллионной карты, создаваемой совместно разными странами по решению 5-го Международного географического конгресса (1891 г.).

Мы не можем привести близкую к действительности цифру общего числа рек земного шара, так как данных о таком подсчете нет. Но, имея в виду, что в СССР, на  $\frac{1}{6}$  части суши земного шара, насчитывается около 3 млн. рек (см. стр. 91), можно, очевидно, хотя бы весьма приблизительно считать, что количество рек на Земле, включая и самые малые, определяется числом 18—20 млн., а их длина, возможно, превышает 50 млн. км. Г. П. Калинин (1968, стр. 307) называл 30 млн. км, но с учетом опубликованных в 1971 г. данных новой инвентаризации рек СССР (см. стр. 91) эта цифра должна быть увеличена. Степень изученности речной сети к настоящему времени, конечно, в разных странах различна, но накопленные сведения позволили установить определенные закономерности в строении речных систем, а также классифицировать

реки по определенным признакам. Выявленные закономерности относятся как к речной сети всего земного шара, отдельных материалов и стран, так и к морфологии отдельного речного бассейна. Из работ последних лет, в которых освещены основные черты строения главных водоразделов Земли и речных систем континентов, можно прежде всего назвать монографии И. П. Герасимова (1959), Л. С. Кинга (1967) и статьи Д. А. Тимофеева (1965), С. С. Коржуева (1970).

В статье С. С. Коржуева указывается на следующие основные особенности современного строения главных водоразделов и речных систем материков (рис. 21): 1) преобладание хорошо орографически выраженных главных меридиональных водоразделов при одновременном слабом общем развитии широтных речных систем, опирающихся на эти водоразделы; 2) слабое развитие широтно ориентированных водоразделов при одновременном широком развитии крупных меридиональных речных систем; 3) общую резкую асимметрию в расположении водоразделов и речных систем материков; 4) приуроченность большинства меридиональных водоразделов к береговой полосе Тихоокеанского подвижного кольца и 5) существование орографически неясно выраженных древних водоразделов. Причина резкого несоответствия устройства Главного водораздела Земли и ее речных систем связана, считает С. С. Коржуев, с характером развития и возрастом морфоструктуры и с климатическими, экзогенными факторами.

Исследованиями французского геоморфолога А. Сюрреля, проведенными в начале 40-х годов XIX в., установлено, что все речные долины имеют линейное протяжение, характеризуются однообразным уклоном, никогда не пересекаются друг с другом, т. е. при встрече соединяются в одну долину (см. Щукин, т. I, 1934). Несколько позже Плейфер дал следующую общую морфологическую характеристику речной системы: «Каждая река состоит из основного потока, питаемого многочисленными притоками, из которых каждый течет в долине, пропорциональной его размерам, и все они вместе образуют систему долин, связанных друг с другом, причем сопряжение устьев этих долин с долиной главной реки таково, что перепады отсутствуют» (см. Линслей и др., 1962, стр. 301); эта характеристика иногда называется законом Плейфера.

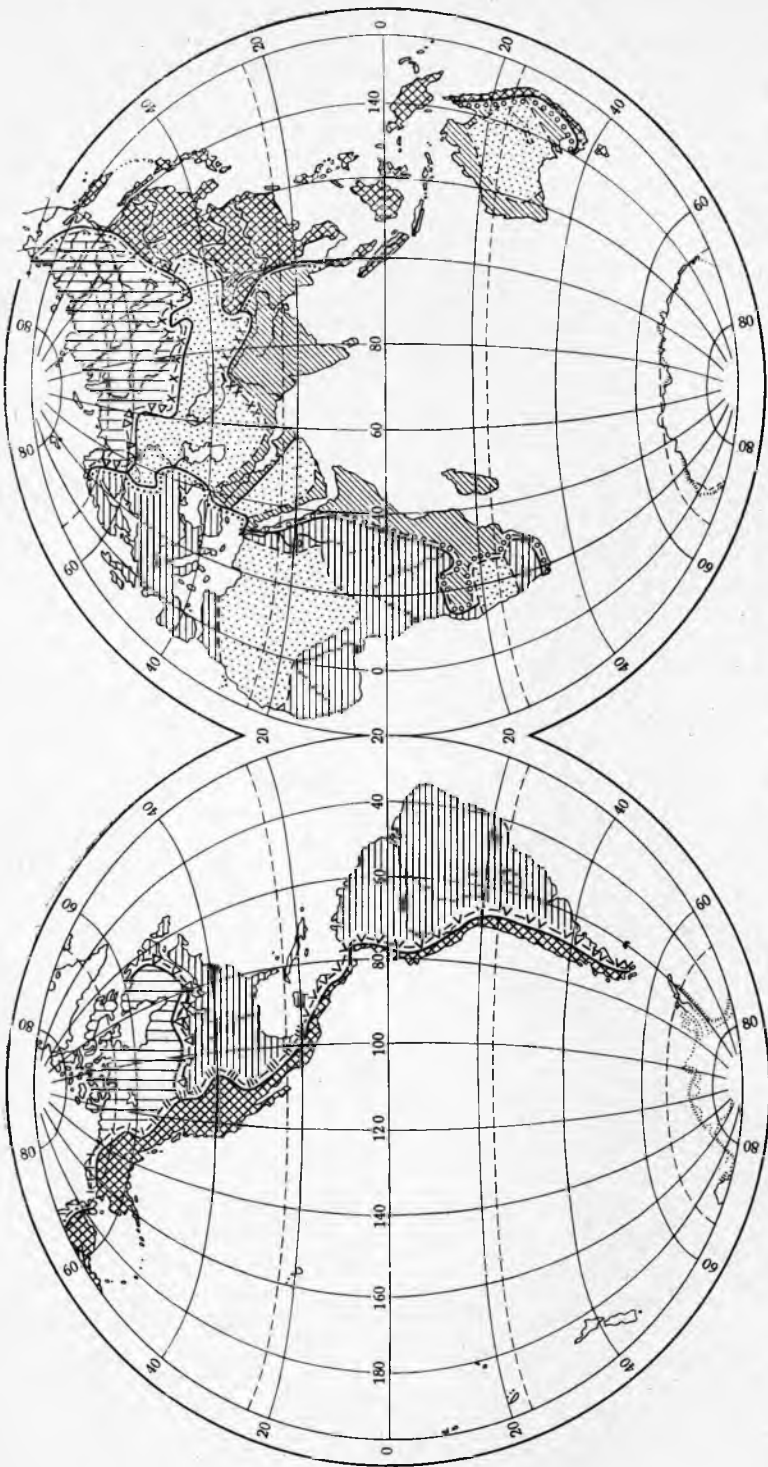
Между площадью речного бассейна ( $F$ ), длиной реки ( $L$ ) и средней шириной бассейна ( $B = F/L$ ) существует определенная связь, которая для  $F > 250 \text{ км}^2$  приближенно может быть выражена уравнениями (Соколов, 1964, стр. 81)

$$B = 0,35F^{0,5} \text{ и } L = 2,90F^{0,5}.$$

Тот же характер связи между длиной главной реки и ее водосборным бассейном фиксируется в опубликованной в 1967 г. формуле двух американских авторов (Smart, Surkan, 1967).

В 1884 г. А. И. Воейков в труде «Климаты земного шара, в особенности России», исходя из выдвинутого им принципа, что реки являются продуктом климата, дал первую гидроклиматическую классификацию рек, разделив все реки мира на девять групп в зависимости прежде всего от источников их водного питания. Позднее появились и многие другие классификации рек, но на них мы останавливаться не будем.

В «Географии» Клёдена дается обширный список озер всех материков, включающий более 200 озер, с указанием площадей их поверхности, высоты положения и для половины из них — наибольшей глубины. Площади поверхности примерно половины озер определены самим Клёденом. Общая площадь вошедших в перечень Клёдена озер составляет более 1 млн. 300 тыс. км<sup>2</sup>, т. е. более половины общей площади озер по А. Пенку. Для суждения о степени приближения данных Клёдена к действительным размерам озер в табл. 14 сведения Клёдена о некоторых озерах сравниваются с современными.



- 1
- 2
- 2a
- 3
- 3a
- 3e
- 4
- 4a
- 4b
- 4c
- 4d
- 4e
- 4f
- 5
- 5a
- 5b
- 5c
- 5d
- 5e
- 5f
- 6
- 6a
- 6b
- 6c
- 6d
- 6e
- 6f
- 7
- 7a
- 7b
- 7c
- 7d
- 7e
- 7f
- 7g
- 7h
- 7i
- 7j
- 7k
- 7l
- 7m
- 7n
- 7o
- 7p
- 7q
- 7r
- 7s
- 7t
- 7u
- 7v
- 7w
- 7x
- 7y
- 7z
- 8
- 8a
- 8b
- 8c
- 8d
- 8e
- 8f
- 8g
- 8h
- 8i
- 8j
- 8k
- 8l
- 8m
- 8n
- 8o
- 8p
- 8q
- 8r
- 8s
- 8t
- 8u
- 8v
- 8w
- 8x
- 8y
- 8z
- 9
- 9a
- 9b
- 9c
- 9d
- 9e
- 9f
- 9g
- 9h
- 9i
- 9j
- 9k
- 9l
- 9m
- 9n
- 9o
- 9p
- 9q
- 9r
- 9s
- 9t
- 9u
- 9v
- 9w
- 9x
- 9y
- 9z
- 10
- 10a
- 10b
- 10c
- 10d
- 10e
- 10f
- 10g
- 10h
- 10i
- 10j
- 10k
- 10l
- 10m
- 10n
- 10o
- 10p
- 10q
- 10r
- 10s
- 10t
- 10u
- 10v
- 10w
- 10x
- 10y
- 10z
- 11
- 11a
- 11b
- 11c
- 11d
- 11e
- 11f
- 11g
- 11h
- 11i
- 11j
- 11k
- 11l
- 11m
- 11n
- 11o
- 11p
- 11q
- 11r
- 11s
- 11t
- 11u
- 11v
- 11w
- 11x
- 11y
- 11z
- 12
- 12a
- 12b
- 12c
- 12d
- 12e
- 12f
- 12g
- 12h
- 12i
- 12j
- 12k
- 12l
- 12m
- 12n
- 12o
- 12p
- 12q
- 12r
- 12s
- 12t
- 12u
- 12v
- 12w
- 12x
- 12y
- 12z
- 13
- 13a
- 13b
- 13c
- 13d
- 13e
- 13f
- 13g
- 13h
- 13i
- 13j
- 13k
- 13l
- 13m
- 13n
- 13o
- 13p
- 13q
- 13r
- 13s
- 13t
- 13u
- 13v
- 13w
- 13x
- 13y
- 13z
- 14
- 14a
- 14b
- 14c
- 14d
- 14e
- 14f
- 14g
- 14h
- 14i
- 14j
- 14k
- 14l
- 14m
- 14n
- 14o
- 14p
- 14q
- 14r
- 14s
- 14t
- 14u
- 14v
- 14w
- 14x
- 14y
- 14z
- 15
- 15a
- 15b
- 15c
- 15d
- 15e
- 15f
- 15g
- 15h
- 15i
- 15j
- 15k
- 15l
- 15m
- 15n
- 15o
- 15p
- 15q
- 15r
- 15s
- 15t
- 15u
- 15v
- 15w
- 15x
- 15y
- 15z



Таблица 14. Размеры некоторых озер мира

Озеро	По Клёдену		По современным данным	
	Площадь зеркала, тыс. км <sup>2</sup>	Наибольшая глубина, м	Площадь зеркала, тыс. км <sup>2</sup>	Наибольшая глубина, м.
Каспийское море	454	845	394,3	980
Верхнее	81,2	145—365	82,4	308
Виктория	93	—	68	80
Танганьика	36,5	—	32,9	1435
Байкал	31,4	1050	31,5	1741
Онежское	12,5	170	9,8	110
Балхаш	20	21	18,3	26

Как видим, сведения таблицы Клёдена довольно удовлетворительно приближались к действительным размерам площадей озерных зеркал.

Во второй половине, особенно в последней четверти, XIX в. в связи с возросшими потребностями рыболовства, добычи соли, водного транспорта исследования озер значительно усилились. В результате этих исследований за короткое время появилось большое число статей и книг, посвященных описанию отдельных озер и исследованию теоретических вопросов озерадения. Прежде всего следует назвать изданный в 1892, 1895 и 1901 гг. трехтомный труд швейцарского ученого Ф. А. Фореля (1841—1912 гг.) «Le Léman. Limnologie monographique», посвященный результатам многолетнего изучения им Женевского озера,— труд, заложивший основы лимнологии как самостоятельной научной отрасли.

В 1893 и 1897 гг. были опубликованы материалы изучения специальными комиссиями озер Боденского и Балатонского; в 90-х годах и в начале XX в. появились работы Х. Милла по английским, Дж. Меррея и Ф. Пуллара по шотландским озерам, А. Делебека об озерах Франции, Агостини и др. об озерах Италии, составленный А. Пенком и Э. Рихтером атлас австрийских альпийских озер, монография А. Гейстбека об альпийских озерах Южной Германии, материалы по озерам Северной Германии, изучавшимся В. Уле и В. Гальбфасом. Результатом начатого в 1887 г. изучения озер штата Висконсин в США явился ряд публикаций Э. Берджа и С. Джудея.

В «Климатах» А. И. Воейкова даны широкие гидрологические обобщения, касающиеся не только рек, но и озер. А. И. Воейков писал, что «озера, как и реки, результат осадков». Он делил озера на проточные, обычно пресные, и непроточные, обычно соленые, указывая на то, что проточные озера свидетельствуют о влажности климата, а непроточные — о его сухости. Он впервые определил водный баланс Каспийского моря, представив его величинами, достаточно близкими к действительным. Известны монографии А. П. Андреева «Ладожское озеро» (1875 г.), Д. Н. Анучина «Верхневолжские озера и верховья Западной Двины» (1897 г.), Л. С. Берга «Аральское море» (1908 г.), его же очерк «Озеро

Рис. 21. Типы главных водоразделов Земли (Коржуев, 1967)

1 — Главный водораздел Земли. Типы и подтипы (в скобках) главных водоразделов; 2 — андский (2а — амазонский, 2б — паранский); 3 — кордильерский (3а — юконский, 3б — миссурийский, 3в — колорадский); 4 — дальневосточный (4а — охотский, 4б — амурский, 4в — меконгский); 5 — центральноазиатский (5а — сибирский, 5б — гималайский); 6 — африканский (6а — нильский, 6б — рифтовый, 6в — конгский); 7 — австралийский; 8 — волжско-миссисипский (8а — миссисипский, 8б — волжский); 9 — черноморский. Бассейны океанов: 10 — Атлантического; 11 — Индийского; 12 — Тихого; 13 — Северного Ледовитого океана; 14 — бессточные области; 15 — границы бессточных областей

Иссык-Куль» (1904 г.), монография Е. С. Маркова «Озеро Гокча» (1911 г.). И другие ценные лимнологические работы принадлежат Д. Н. Анучину и Л. С. Бергу, и они вместе с А. И. Воейковым по праву считаются основателями озераведения в России.

В это же время появились труды, в которых нашли систематическое изложение теоретические вопросы лимнологии, ее задачи и методы исследования. В 1902 г. была издана монография Е. С. Маркова «О методах исследования озер. Методика лимнологии». Говоря о первых итогах развития лимнологии, Е. С. Марков отмечал следующие три важных достижения: 1) выработку представления об озере как о самостоятельной природной единице, о сложном географическом индивиде, составные части которого находятся в постоянном взаимодействии; 2) выработку взгляда на озеро как на объект, подвластный законам эволюции; 3) стремление лимнологии к применению в исследованиях и обобщениях точных методов.

В конце XIX — начале XX в. благодаря исследованиям К. Пейкера, А. Пенка, В. Гальбфаса, Е. С. Маркова и др. получили разработку способы определения и выражения морфометрических характеристик озера, к числу которых относятся: площадь озера, его длина, ширина, глубина, объем, средний уклон озерного ложа, гипсографическая кривая (показывающая связь глубин с соответствующими им площадями), степень развития (изрезанности) берега, острова, озера.

По подсчету А. Пенка, относящемуся к концу XIX в., общая площадь озер земного шара составляет около 2500 тыс. км<sup>2</sup>; по данным последнего времени, она близка к 2700 тыс. км<sup>2</sup> (Грин, 1966, стр. 60).

В 1922 г. В. Гальбфас опубликовал сводную работу об озерах мира с морфометрическими данными о 1750 озерах, включая 89 озер России (Halbfass, 1922). Еще раньше, в 1913 г., он определил объем воды в озерах, пресных и соленых, равным 250 тыс. км<sup>3</sup> (Internationale Keigu..., 1913/14).

Первую классификацию озер дал еще Б. Варений, разделивший их на четыре группы по гидрологическому принципу. Известны также появившиеся во второй половине XIX и в начале XX в. классификации озер по генезису их ложа В. Дэвиса, Ф. Рихтгофена, А. Пенка, Ф. Фореля, А. Зупана, Э. Берджа и С. Джудея, П. И. Броунова и др. (Федосеев, 1969); из более поздних назовем генетические классификации озерных котловин М. А. Первухина (1937 г.) и Дж. Хетчинсона (1957 г.) (см. Богословский, 1960). Имеются классификации озер и по другим признакам — гидрологическим, химическим, биологическим, морфологическим.

## Гидрография СССР

**Гидрография допетровского времени.** Первые государственные образования на Руси относятся примерно к VI—VII вв., однако освоение человеком территории нашей Родины восходит к временам значительно более древним.

Накопление гидрографических знаний на Руси происходило по мере расселения славян по речным системам вплоть до морских берегов.

Весьма важным речным путем, ставшим особенно выгодным для славян с IX в., был путь из Балтийского в Черное море, так называемый путь «из варяг в греки».

Описание пути «из варяг в греки» мы находим в драгоценном памятнике русской древности «Повести временных лет» (летописи Нестора, относящейся к 1114—1116 гг.), в которой наш первый летописец рассказывает о главнейших событиях, происшедших на Руси в 852—1117 гг., начиная с того, «откуда пошла русская земля». Вот как описывает древний автор знаменитый водный путь: «Когда же поляне (славяне, рас-

селившиеся по Днепру.— И. Ф.) жили отдельно по горам... тут был путь из Варяг в Греки и из Греков по Днепру, а в верховьях Днепра — волок до Ловати, а по Ловати входят в Ильмень озеро великое; из этого же озера вытекает Волхов и впадает в озеро великое Нево, и устье того озера впадает в море Варяжское... Днепр же вытекает из Оковского леса и течет на юг, а Двина из того же леса течет, а направляется на север и впадает в море Варяжское. Из этого же леса течет Волга на Восток и впадает семьюдесятью устьями в море Хвалиское... А Днепр впадает устьем в Понтийское море; это море слывет Русским...» Описание речной сети показывает довольно обширные гидрографические знания летописца. Ему хорошо известны Днепр и Волга, он упоминает о Дунае и Днестре, Висле с Бугом и Наревом, Сане, Ловати, Волхове. Называются им также реки Луга, Мста и притоки Волги Медведица, Шексна, Ока.

Столь же рано, как и по Днепру, было освоено плавание по Днестру и Дону, также имевшим большое значение в системе наших древних путей сообщения. Через Дон торговые люди Киевской Руси из Азовского моря или восточных притоков Днепра без особых затруднений переходили в волжскую систему и в Каспийское море.

Начало изучения наших северных рек связано с предприимчивостью жителей Великого Новгорода, ставшего с начала XII в. самостоятельным княжеством и объединившего вокруг себя большую территорию. Пути обширной торговли новгородцев включали в себя многие реки. По Днепру и Волге новгородцы привозили хлеб, в котором они испытывали весьма большую нужду. Интересно отметить, что на путях выхода новгородцев на Волгу, по рекам Мсте, Сяси и Вытегре впоследствии были построены известные водные системы — Вышневолоцкая, Тихвинская и Мариинская. Это обстоятельство красноречиво свидетельствует об умении новгородцев выбирать наиболее рациональные варианты водных путей, что, конечно, могло явиться только результатом их определенных гидрографических познаний.

Несомненно энергичные сношения Новгорода с северо-востоком, именно с бассейнами рек Онеги, Северной Двины, Мезени и Печоры, вплоть до берегов Ледовитого океана. Видный русский историк И. Д. Беляев говорил, что уже в XI и XII вв. русские «так далеко заходили на север, как в то время не заходил ни один европейский народ... и на столько знали глубокий север Азии, на сколько он не был известен никому в Европе даже несколько веков позднее» (Беляев, 1852, стр. 11). Не позже второй половины XIV в. русским стали известны низовья Оби.

В конце XV и начале XVI в., после свержения в 1480 г. монголо-татарского ига, происходит быстрый процесс консолидации Русского государства, расширяются его границы. В середине XVI в. русские полностью, от истоков до устья, овладевают Волгой, выходят к Уралу и в Западную Сибирь. Конечно, движение русских по Волге не прекращалось и во время монголо-татарского господства, и именно к Волге и Дону, как отмечает Н. П. Загоскин (1909), переходит в этот период бывшее первенство Днепра в системе торговых путей России. В 1466 г. по Волге от Твери (Калинина) началось знаменитое путешествие Афанасия Никитина, первым из европейцев побывавшего в Индии.

Начало энергичного продвижения русских на северо-восток страны относится к последней четверти XVI в. Особенно важным был поход в Сибирь Ермака, положивший начало быстрому ее освоению. Основанием в 1628 г. Красноярска завершается освоение большей части Енисея, а вскоре после того русские уже выходят к Ангаре, Байкалу и верховьям Лены. Во второй четверти XVII в. по широко разветвленной речной сети Сибири отдельные отряды русских землепроходцев достигают северных и восточных морских берегов.

Гидрографическая сеть Сибири в большой мере была пройдена уже в первой половине XVII в.

Но хотя уже в конце первой половины XVII в. русские вышли к морским берегам и на севере и на востоке, гидрография Сибири была известна в то время, конечно, лишь только в общих чертах. Об азиатской части России нельзя сказать того, что бесспорно относительно европейской части, которая в XVII в. была настолько известна, что на ней не могло быть сколько-нибудь значительных открытий «неведомых земель» (Лебедев, 1950, стр. 29).

Гидрографическое изучение России нашло отражение на многих чертежах допетровского времени. Большинство этих чертежей до нас не дошло, но многие из них известны по описи Приказа тайных дел, произведенной в 1713 г. по указу Петра I. В этой описи находятся следующие чертежи, относящиеся к гидрографии России (Опись делам..., 1861):

Чертеж Хвалынского моря и к нему рекам и городам;

Чертеж Двине реке и иным рекам, которые из нее вышли и где какие по ним угодья и города и монастыри;

Чертеж от Вологды Кубинскому озеру и рекам, на которых стоят Вага, Холмогоры и иные города и села и деревни;

Чертеж Азовскому и Черному морям и Азову и Черкасскому да Крыму и иным городам;

Чертеж озерам Ладожскому, Ильмени с иными озерами и реками.

У В. Н. Татищева имеется указание, что при царе Борисе Годунове (1598—1606 гг.) была «с довольным искусством» вычерчена карта с показанием на ней Аральского моря («его же Синим именуют») (Татищев, 1769, стр. 506).

Хозяйственные и военные потребности образовавшегося к середине XVI в. централизованного Русского государства вызывали необходимость создания географической карты в масштабе всей страны. В 1552 г. такая карта была создана. Это знаменитый Большой Чертеж, в основу которого была положена гидрографическая сеть. В 1627 г. было сделано описание Большого Чертежа, известное под названием «Книги Большому Чертежу» — первой русской систематизированной географии, которая с полным основанием считается также и первым сочинением, обобщающим знания по гидрографии всей нашей страны в конце первой четверти XVII в. (Книга Большому Чертежу, 1950). Видный русский публицист и общественный деятель Н. И. Новиков, впервые издавший в 1773 г. «Книгу Большому Чертежу», учитывая преобладание в ней именно гидрографических сведений, назвал ее «Древняя Российская гидрография, содержащая описание Московского государства рек, протоков, озер, кладязей, и какие по ним города и урочища, и на каком оные расстоянии».

В «Книге Большому Чертежу» представлена гидрография огромного пространства — от «Студеного» моря до Черного, от «Котлина озера» (Финского залива) до реки Оби, «и за реку за Обвь морским берегом до реки Таза и реки Тура до Мангазеи», «и по Енисею реку». На юге сведения «Книги» распространяются вплоть до Аральского моря и Сырдарьи. Описание начинается от «царствующего града Москвы» и ведется по системам рек Донца, Дона, Терека, Яика, Днепра, Оки, рек Севера. О Волге сказано: «А река Волга вытекла от Торопца за 60 верст, а от реки Ловати, от города от Холма за 50 верст, и потекла под Ржеву промеж озера Селижарова и озера Торопа».

Расширение границ Московского государства вызвало необходимость создания новых карт. В 1667 г. в г. Tobольске, являвшемся в то время административным центром Сибири, П. И. Годуновым был выполнен «Чертеж Сибирской земли», исправленный и дополненный в 1672 г. новыми сведениями. На чертежах показаны великие водные артерии Сибири и Дальнего Востока — Енисей, Лена, Амур с их притоками. В 1701 г. по указу Петра I С. У. Ремезов создает в Tobольске первый русский географический атлас на 23 листах — «Чертежную Книгу Сибири». В отношении гидрографии в «Чертежной Книге Сибири» обращает на себя

внимание хорошее знание русскими людьми речной сети западного склона Уральского хребта: более ста рек с их названиями обозначено на 22-м листе, относящемся к этой территории (Ястребов, 1972).

Накопление сведений о гидрографии России и гидрологии рек происходило в рассматриваемое время также в связи с использованием их для орошения, водоснабжения городов и как источников энергии для водяных мельниц.

Вплоть до XIII в., т. е. до начала монголо-татарского нашествия, в Средней Азии велось строительство крупных ирригационных каналов, возобновившееся в XIV в. после освобождения страны от завоевателей.

Еще в XII—XIII вв. в Грузии были прорыты Алазанский (119 км) и Самгорский (20 км) оросительные каналы.

Таким образом, к концу XVII в. русская гидрография располагала уже довольно обширными сведениями о реках как европейской, так и азиатской части России. Однако эти сведения были явно недостаточными, направления даже крупных рек показывались еще с большими неточностями. Наблюдения за режимом рек еще только начинались и велись с применением лишь самых простых средств.

Гидрографические исследования в XVIII—XIX вв. (до 1875 г.). Начало этого периода совпадает с царствованием выдающегося деятеля русской истории Петра I.

В связи с ростом промышленного производства, внутренней и внешней торговли Петр I обращал большое внимание на развитие водных путей России.

В 1699 г. Петр I принимал личное участие в съемке р. Дона от Воронежа до Азова, произведенной К. Крейсом. В своей работе «Разыскания о Доне, Азовском море, Воронеже и Азове...» Крейс писал, что он «реку Дон... в присутствии его царского величества зделал...» (Крейс, 1824, стр. 305). В результате съемки была составлена карта Дона.

Двумя годами раньше Петру было представлено произведенное по его поручению гетману Мазепе «Описание реки Днепра от м. Переволочного до Черного моря». Описание носит характер простого перечисления притоков Днепра и Буга, островов и порогов (Максимович, 1904).

Во время своих многочисленных поездок по стране Петр I тщательно изучал возможности устройства соединительных каналов. Его инициативе принадлежат проекты соединения рек Москвы и Волги, Волги и Дона, Вышневолоцкой водной системы, соединения бассейнов Каспийского и Белого морей (будущее Северо-Екатерининское сообщение), Днепра и Западной Двины, Мариинской и Тихвинской водных систем и связанные с этими проектами изыскания на реках и водоразделах, причем в некоторых изысканиях Петр I принимал личное участие.

Много внимания было уделено Петром I поискам водного пути из России в Индию через Среднюю Азию. Главным образом с этой целью Петр посылает в 1715 г. на Амударью экспедицию А. Бековича-Черкасского. Очень важным результатом работы этой экспедиции явилась съемка северного и восточного берегов Каспийского моря; при этом было бесспорно доказано, что река Амударья в Каспийское море не впадает.

На основании работ экспедиции А. Бековича и съемок южного и западного берегов Каспия, произведенных в 1719 г. известными гидрографами Ф. И. Соймоновым и К. Верденном, в 1721 г. была составлена карта Каспийского моря, впервые правильно показавшая его географическое положение и очертания.

Дж. Перри, работавший в России по приглашению Петра, произвел в августе 1700 г. первое измерение расхода воды в р. Волге. Он нашел, что Волга приносит в Каспийское море в течение года более 445 522 м<sup>3</sup> воды в минуту. Весь же приток воды в Каспийское море, с учетом других рек, Перри полагал равным 1 336 566 м<sup>3</sup> в минуту. Д. Перри мало ошибся в определении среднегодового расхода Волги у Камышина, где произ-

водились измерения, но он слишком преувеличил приток в Каспийское море вод других рек, отчего общий приток в море оказался у него выше действительного более чем в 2 раза.

К числу весьма важных относится экспедиция приглашенного Петром для исследования Сибири немецкого ученого Д. Г. Мессершмидта, проведенная в 1719—1727 гг. Мессершмидт собрал много ценных сведений о географии и природе края. Трудный путь его путешествия проходил по рекам Енисею, Нижней Тунгуске, Лене, Ангаре, Кети, Иртышу. По окончании экспедиции Мессершмидтом были представлены карты, о которых Академия наук писала, что «карты по географической науке сочинены изрядно» (Пекарский, 1862, стр. 360). Мессершмидт описал оз. Байкал и составил его карту, оставшуюся неизданной.

К эпохе Петра I относится начало организации в нашей стране водомерных наблюдений на некоторых реках. В 1715 г. на р. Неве у Петропавловской крепости был установлен водомерный пост, по которому сохранились результаты наблюдений за уровнями наводнений, привязанные к современной системе отметок.

К 1726 г. относится первый указ об установке меток высоких вод. В 1740 г. Академия наук устроила водомерный пост для наблюдения за уровнями р. Невы у Васильевского острова, а в 1749 г.— водпост на р. Мойке у Синего моста (Шретеровский футшток). Адмиралтейств-коллегией, ведавшей тогда гидрографической службой, были организованы водомерные посты: в 1752 г.— на обводном канале Главного адмиралтейства и на р. Северной Двине у г. Архангельска; в 1777 г.— на р. Фонтанке у Калинкина моста; в 1792 г.— на р. Волге у г. Астрахани. С середины XVIII в. были начаты спорадические наблюдения уровней на днепровских порогах.

Сведения по гидрографии нашли отражение в географических сочинениях В. Н. Татищева, и прежде всего в важнейшем из них — «Лексиконе Российском историческом, географическом, политическом и гражданском», составленном в алфавитном порядке. В этом незаконченном энциклопедическом словаре (он доведен до слова «ключник») В. Н. Татищев сообщает сведения о многих реках, ручьях и озерах, а также о некоторых морях. Обычно эти сведения касаются происхождения названий водных объектов, протяженности рек и иногда особенностей их течения.

Наиболее важными экспедициями рассматриваемого периода были экспедиции, имевшие главной целью разрешение вопроса о том, соединяются или разделены водой Азия и Америка и, следовательно, существует ли, как говорил Петр I, «дорога через Ледовитое море в Китай и Индию». Вместе с тем на экспедиции возлагалась задача исследования и описания северо-восточной окраины, особенно Камчатки, почему они и получили название Первой и Второй камчатских экспедиций. Первой камчатской экспедицией под руководством В. Беринга и последующими русскими экспедициями было с несомненностью доказано существование пролива между Азией и Америкой, соединяющего Северный Ледовитый и Тихий океаны (Берингов пролив).

Но особенно плодотворной была Вторая камчатская, или Великая северная, экспедиция, возглавлявшаяся также В. Берингом. За 10 лет работы (1733—1743 гг.) экспедиция произвела съемку и описание северных берегов России и собрала исключительно ценные сведения о природе Сибири и Камчатки. Экспедицией была организована сеть станций для наблюдения за метеорологическими явлениями, в частности велось наблюдение за вскрытием и замерзанием рек. В. Гмелиным было произведено обследование Байкала. Участник экспедиции, будущий академик С. П. Крашенинников (1711—1755 гг.) в результате 12-летних исследований создал опубликованный в 1755 г. замечательный труд «Описание земли Камчатки», в котором впервые сообщаются подробные сведения

также и по гидрографии полуострова (Крашенинников, 1755). Им также производилось исследование берегов рек Енисей, Лены, Витима, Баргузина. Течения сибирских рек описывал также участник экспедиции Г. Миллер.

В организации и проведении Второй камчатской экспедиции активное участие наряду с Сенатом и Адмиралтейств-коллегией принимала Академия наук. Другим очень важным делом, выполненным Академией наук к 1745 г., является составление и издание географическим департаментом академии нового географического атласа из 19 карт с «Генеральной картой Российской империи». Эта карта имела уже довольно полную гидрографическую нагрузку с изображением направлений рек, достаточно близким к действительным. Работа по дальнейшему уточнению академического атласа 1745 г. в значительной степени связана с деятельностью М. В. Ломоносова.

В конце 1758 г. Сенат обратился к Академии наук с требованием сообщить сведения о р. Волге с притоками «с описанием глубины в самую большую, посредственную и меньшую воду, крутость и пологость берегов, и где она по низкости их так разливается, что настоящей глубины иметь не может, и в коих же местах как беспрерывно и по случаям бывают мели, и как велики и от чего то происходит и о прочем, что до навигации следует, также и о реках Медведице, Дону, Хопре и Донце и какие по оным суда в какое время и с каким грузом ходить могут...» (см. Ломоносов, 1940, стр. 260).

М. В. Ломоносов, которому в марте 1758 г. президентом академии К. Г. Разумовским было поручено «особливое рассмотрение» за деятельностью географического департамента, ответил Сенату, что академия не имеет и не может иметь таких сведений; при этом он указывал, что «Рен (Рейн) река, которая против Волги едва десятою долею сравниться может и протеканием по земли, которая академиями издавна наполнена, по оным суда в какое время и с каким грузом ходить могут...» (см. Ломоносов, 1940, стр. 260).

К числу созданных у нас в это время географических работ, имевших важное значение в деле гидрографического изучения страны, относится опубликованная в 1762 г. замечательная монография П. И. Рычкова (1712—1777 гг.) «Топография Оренбургская...»

В этом капитальном труде содержатся ценные сведения о реках огромной территории площадью 4 млн. км<sup>2</sup>. П. И. Рычковым описаны такие «знатнейшие реки», как Волга, Кама, Яик (Урал), Эмба, Сырдарья, Сарысу, Ишим, Тобол, Белая и др.

Уже указывалось, что в 1773 г. известный просветитель Н. И. Новиков (1744—1818 гг.) впервые издал «Книгу Большому Чертежу», отразившую итог географического и гидрографического изучения страны к концу первой четверти XVII в. В предисловии к этому изданию Н. И. Новиков писал, что он предпринимает его «иначе всего для обличения несправедливого мнения тех людей, которые думали и писали, что до времен Петра Великого Россия не имела никаких книг, кроме церковных, да и то будто только служебных» (Древняя Российская гидрография..., 1773).

Ценным изданием того времени, содержащим большой гидрографический материал, является вышедший в 1773 г. в Москве «Географический лексикон Российского государства...» Ф. А. Полунина под редакцией и с предисловием Г. Ф. Миллера. В этом словаре на 480 страницах убористого текста даются сведения о реках, озерах, морях и других географических объектах, основанные на материалах исследования страны вплоть до начала больших академических экспедиций (1768 г.). В словаре Полунина широко, причем иногда буквально, использованы описания, данные Татищевым в его «Лексиконе», но, конечно, в нем отражены и определенные достижения в изучении страны за 25-летний период,

разделяющий годы составления «Алексиконов» Татищева и Полунина. Так, например, в статье о Каспийском море мнение прежних ученых о «пучине» в Кара-Богаз-Голе представляется как ошибочное, а попытки определения «сметы» (водного баланса) моря уже не вызывают скептического отношения.

«Географический лексикон» Ф. А. Полунина явился основой изданного в 1788—1789 гг. 6-томного «Нового и полного географического словаря Российского государства». Он же составил ядро вышедшего в семи частях в 1801—1809 гг. «Географического словаря Российского государства» А. М. Щекатова. Оба эти словаря, как указывается в их полных названиях, описывают местности России также и «гидрографически». В предисловии к первой части последнего словаря отмечается, что при его составлении были использованы материалы академических экспедиций Гмелина, Палласа, Лепехина, Озерецковского «и прочих, которых труды останутся незабвенными для потомства».

1768—1774 годы вошли в историю русской географии, да и в историю русской науки вообще, как «эпоха академических экспедиций». В эти годы Академией наук был организован ряд «физических» экспедиций, впервые охвативших всесторонними обследованиями по намеченному плану почти всю территорию России, хотя две общие экспедиции, объединившие шесть отдельных экспедиций, формально назывались Оренбургской и Астраханской. В первую входили экспедиции, возглавлявшиеся П. С. Палласом, И. П. Фальком, И. И. Лепехиным и И. Г. Георги. Вторая делилась на две экспедиции, во главе которых стояли С. Г. Гмелин и И. А. Гильденштедт.

Трудами участников экспедиций многое было добавлено также и к сведениям по гидрографии и гидрологии страны.

Экспедиция П. С. Палласа произвела обследование огромной территории, включающей Нижнее и Среднее Поволжье, Оренбургский край, Сибирь и Забайкалье.

Ценнейшие сведения, собранные П. С. Палласом, изложены им в обширной монографии «Путешествие по разным провинциям Российской империи в 1768—1773 гг.», изданной в трех частях (пяти книгах) в 1773—1788 гг.

Районами деятельности экспедиции И. П. Фалька были Астраханская и Оренбургская губернии, Среднее и Нижнее Поволжье, Западная Сибирь, Южный Урал, предгорья Северного Кавказа. Его «Записки путешествия» также составлены на гидрографической основе и содержат много интересных описаний рек обследованных районов. При описании Оби И. П. Фальк пользуется найденными в Барнауле местными картами этой реки, «которые гораздо вернее и подробнее других», и потому он считает, что его описание «может служить частью дополнением к сибирской гидрографии».

Экспедиция И. И. Лепехина охватила обследованием Среднее и Нижнее Поволжье, Урал, северную часть Европейской России. В своих «Дневных записках путешествия по разным провинциям Российского государства» И. И. Лепехин сообщает весьма ценные сведения по гидрографии. Его меткие описания касаются преимущественно малых и средних рек и озер, а также ключей, запруд, водяных мельниц.

Экспедиция И. Г. Георги наряду с изучением районов Сибири имела главной целью обследование Байкала.

Участник экспедиции Георги А. Пушкирев сделал в 1772—1773 гг. первую гидрографическую съемку Байкала и составил карту этого озера в масштабе 10 верст в 1 дюйме. Укажем здесь, что в конце XVIII в., именно в 1797 г., гидрографические работы на Байкале с промером глубин его южной части были произведены С. Сметаниным и Е. Копыловым, причем максимальные глубины, измеренные с очень большой для того времени точностью, оказались равными 1100—1234 м (Лемакин, 1955).



Работы экспедиции С. Г. Гмелина проходили в районе Дона, от Воропежа до устья, в Нижнем Поволжье и в Персии. Обследованиями экспедиции И. А. Гильденштедта были охвачены верховья Дона, нижняя Волга, Северный Кавказ, Закавказье, часть Украины. Обе эти экспедиции также доставили много новых сведений по гидрографии и гидрологии.

Примерно с третьей четверти XVIII в. в России вновь начинают обращать внимание на устройство искусственных водных путей, в связи с чем производятся отдельные изыскания на реках и водоразделах между ними. Однако заметное оживление работ по улучшению внутренних водных путей и гидрографических исследований относится лишь к самому концу XVIII и началу XIX в.

Важной вехой в истории развития внутренних водных сообщений в России явилось создание в 1798 г. центрального государственного учреждения по заведыванию водными путями — департамента водяных коммуникаций. С организацией департамента гидрографические исследования и гидротехнические работы на реках значительно усилились. Уже на первых порах деятельности департамента были произведены изыскания на ряде рек.

У К. Завадского указаны реки и водоразделы между ними, где в это и последующее время производились топографические и гидрографические изыскания в связи с предложениями об устройстве водных сообщений между Европейской Россией и Сибирью (Завадский, 1884).

В 1802 г. департаментом водяных коммуникаций была издана «Гидрографическая карта части Российской империи между водами Белого, Балтийского, Черного и Каспийского морей» в масштабе 100 верст в 1 дюйме (1 : 4 200 000). В том же году вышло в свет составленное секретарем департамента Бахтуриным «Краткое описание внутреннего Российской империи водохозяйства между Балтийским, Черным, Белым и Каспийским морями, служащее изъяснением изданной при Департаменте водяных коммуникаций гидрографической карты».

Гидрографическая изученность страны к началу XX в. получила отражение на изданной в 1801—1804 гг. депо карт «Подробной карте Российской империи и близлежащих заграничных владений» в масштабе 20 верст в 1 дюйме (1 : 840 000), известной под названием «Столиковой карты». Основой этой первой многолистной (фактически она имела 114 листов) карты России явились материалы съемок Генерального штаба.

Водные исследования и гидротехнические работы в последующие три десятилетия позволили издать в 1832 г. «Гидрографический атлас Российской империи». В атласе, состоящем из 59 листов размером 48×65 см, даны карты Вышневолоцкой, Мариинской, Тихвинской водных систем, планы, продольные и поперечные профили соединительных каналов, чертежи гидротехнических сооружений на реках и каналах (плотин, шлюзов, мостов и др.). Год спустя была издана общая гидрографическая карта в масштабе около 80 верст в 1 дюйме, на которой были показаны реки, озера, существующие и устраиваемые искусственные водные пути и пути, по которым производятся изыскания. Однако эта карта имела очень много неточностей, вплоть до того, что притоки некоторых рек были показаны впадающими не с той стороны, с которой они впадают в действительности.

В 1846 г. была издана новая гидрографическая карта Европейской России на 12 листах в масштабе 1 : 1 630 000. Карта составлялась по данным, собранным и проверенным на месте, а не просто путем переноса сведений с других карт. Каждая река на карте изображена со всеми притоками, включая незначительные. Линии судоходных рек обозначены синим цветом, сплавных — зеленым, а каналов — красным. Крупные реки, такие, как Волга, Днепр, Дон, Западная и Северная Двина и др., показаны двумя линиями, с обозначением островов на них. Впервые были правильно изображены устьевые участки этих рек.

В связи с потребностями судоходства по внутренним водным путям в начале XIX в. в ряде пунктов стали проводиться наблюдения за колебаниями уровней в реках и каналах, имевшие главной целью выяснение условий судоходства в данный момент, и прежде всего проходимости перекатов.

Наиболее ранние систематические измерения уровней, беспрерывно продолжающиеся по настоящее время, были начаты у нас в 1812 г. на р. Немане у г. Смалнинкай.

До организации планомерного изучения режима уровней (1875 г.) водомерные наблюдения велись на небольшом количестве постов, в том числе в следующих пунктах: на р. Волге — у Горького (Нижнего Новгорода, 1820), Астрахани (1844), Казани (1848), Рыбинска (1849), Костромы (1849), Ярославля (1848), Куйбышева (Самары, 1852), Кинешмы и Городца (1866); на р. Каме — у Дедюхина (1826), Чермозского завода (1854), Перми (1857); на р. Днепре — у Лодманской Каменки (1818), Киева (1839), Черкасс (1847), Лоева (1857), Кременчуга (1859), Херсона (1865); на р. Западной Двине — у Двинска (1816).

Относительно изучения водоносности русских рек можно сказать, что были лишь отдельные редкие случаи измерения расходов воды. Так, например, в 1841 г. полковником Шернвалем был определен расход воды в Волге в межень у г. Ржева, оказавшийся равным около  $30 \text{ м}^3/\text{сек}$ . В 1864 г. инженером Плисовым подсчитаны меженные расходы для различных пунктов на Волге между Калинином и Рыбинском. Но Н. А. Богуславский, автор монографии «Волга как путь сообщения», из которой взяты приведенные сведения о стоке Волги, не придавая какого-либо значения эпизодическим и крайне редким измерениям расходов воды Волги, писал, что «о количестве воды, протекавшей в прежнее время, нет совершенно никаких сведений: непосредственные наблюдения над количеством воды в Волге начаты только с 1880 г., а прежде никогда не делались» (Богуславский, 1887, стр. 162). При этом он отмечал, что сведений об изменении количества протекающей в реках воды не имелось в то время не только ни для одной из наших рек, но и для рек других стран.

Крупным трудом по водам России явилась 6-томная «Гидрография Российской империи» И. Х. Штукенберга. Первый том «Гидрографии» посвящен бассейну Балтийского моря, второй — Северного Ледовитого и Тихого океанов, третий — Черного моря, четвертый и пятый — Каспийского моря, шестой том содержит дополнения и подробный указатель.

«Гидрография» Штукенберга, вышедшая в 1844—1849 гг. и явившаяся плодом 20-летнего труда автора, подытожила сведения о реках и озерах России, добытые за 150-летний период исследований.

Расширение сведений по гидрографии рек и озер России в процессе ее общегеографического исследования, а также изучение климата страны, начиная с конца первой половины XIX в., в большой степени были связаны с деятельностью организованного в 1845 г. Русского географического общества. С первых же лет существования общества под его руководством был проведен целый ряд экспедиций в различные области страны.

Приведем далее основные сведения, относящиеся к изучению озер.

В 1848—1849 гг. А. И. Бутаковым и К. Е. Поспеловым была произведена съемка берегов и промеры глубины Аральского моря, а в 1850 г. гидрографическим департаментом морского министерства по их данным была издана карта этого моря.

Значительным фактом в истории изучения Аральского моря явилось издание Географическим обществом в 1851 г. составленной Я. В. Ханковым карты Аральского моря и Хивинского ханства.

Подробное гидрографическое исследование Каспийского моря было проведено в 1856—1867 гг. экспедицией морского министерства, возглав-

лявшейся членом Географического общества Н. А. Ивашинцовым. В итоге этого исследования был составлен и издан в 1870 г. полный атлас Каспийского моря. Ивашинцов интересовался вопросом о водном балансе Каспийского моря. Приток речных вод в Каспий он определил в 21 дюйм (около 530 мм) в год, что значительно меньше действительного среднего притока, определенного позже.

П. П. Семенов-Тянь-Шанский изучал в 1856—1857 гг. одно из самых больших озер мира — Иссык-Куль. В 1858 г. была издана первая карта озера, основанная на топографических съемках.

В 1858—1859 и в 1873 гг. морское министерство провело обширные исследования Ладожского озера. Руководивший ими А. П. Андреев отмечает, что до XVIII столетия не имелось никаких сведений по гидрографии Ладоги — этого самого обширного озера Европы (его длина более 200 км, наибольшая ширина 124 км, площадь 18 400 км<sup>2</sup>), причем находящегося вблизи столицы (Андреев, 1875). Первые промеры глубин озера были сделаны в 1763—1765 гг. Селяниновым. В результате гидрографических работ экспедиции А. П. Андреева гидрографическим департаментом морского министерства в 1867 г. была издана состоящая из двух больших листов в масштабе 1 : 200 000 карта Ладожского озера с 11 планами на полях, относящимися к прибрежным местностям.

Говоря о гидрографических исследованиях, проводившихся офицерами морского министерства, укажем еще на то, что Амурской экспедицией 1848—1855 гг. под руководством Г. И. Невельского были установлены островной характер Сахалина и проходимость устья Амура для больших судов.

Знакомство русских с оз. Байкал и его изучение начались еще в середине XVII в. В 1864 г. была издана карта Байкала, основанная на проведенной в 1849—1850 гг. подробной съемке его берегов. Интенсивные исследования Байкала были произведены в 1866—1890 гг. группой участников польского восстания 1863 г., отбывавших ссылку на берегах озера. Известный байкаловед Г. Ю. Верещагин указывает, что работы поляков, особенно Б. И. Дембовского и И. Д. Черского, составили эпоху в изучении Байкала (Верещагин, 1949). Б. И. Дембовский произвел промеры глубин южной части Байкала по точно нанесенным на карту профилям.

Кратко остановимся на одной из интереснейших проблем гидрографии Средней Азии.

В Географическом обществе неоднократно обсуждался вопрос о древнем течении Амударьи, о сухом русле Узоя, о повороте течения Амударьи в Каспийское море, возможность чего пытался выяснить еще Петр I.

Впервые этот вопрос был возбужден в обществе в 1864 г. запиской В. В. Григорьева, Н. А. Ивашинцова и др., в которой они, основываясь на исторических свидетельствах, высказали убеждение, что Амударья втекала раньше в Каспийское море и что поворот ее в старое русло возможен.

Согласно указаниям некоторых восточных авторов, еще в XIV—XVI вв. Амударья по крайней мере часть своих вод отдавала Каспийскому морю. 5 февраля 1870 г. на заседании отделения физической географии Русского географического общества Р. Э. Ленц выступил с докладом «Наши познания о древнем течении Амударьи и впадении ее в Каспийское море». Ленц утверждал, что с X в. Амударья постоянно впадает в Аральское море. Впадение ее когда-либо в Каспийское море он считал сомнительным. Но если Амударья действительно когда-то изменила свой путь, то для объяснения этого обстоятельства, говорит Ленц, следует принять в расчет факт сильного подмыва правого берега Амударьи, о котором свидетельствуют уже древние восточные писатели. Возможно, заключает Ленц, изменение течения Амударьи вполне объ-

ясняется законом Бэра (Известия Русского географического общества, 1870) <sup>1</sup>.

Интерес к исследованию Арало-Каспийского бассейна особенно усилился с начала 70-х годов, после присоединения к России среднеазиатских районов.

Значительные гидрографические исследования Амударьи были произведены в 1874 г. экспедицией Географического общества, возглавлявшейся Н. Г. Столетовым и А. А. Тилло. Этой экспедицией (ее участником Н. Н. Зубовым) был измерен расход воды Амударьи в ее нижнем течении, оказавшийся равным 1119 м<sup>3</sup> в высокую воду и 864 м<sup>3</sup> в низкую воду. В 1875 г. среднегодовой расход Амударьи у Нукуса был определен Ф. Б. Дорандтом равным 1474 м<sup>3</sup> в секунду. Нивелировками этой экспедиции было установлено, что горизонт Аральского моря стоит выше горизонта Каспийского моря примерно на 75 м. В 1876 г. экспедицией Петрусевича было обнаружено существование громадной Сарыкамышской котловины, дно которой лежало ниже уровня Аральского моря более чем на 85 м. Когда-то эта котловина была озером, пересохшим вследствие прекращения течения воды по старым руслам Амударьи <sup>2</sup>.

Важным делом, выполненным Географическим обществом, является издание в 1863—1866 гг. 5-томного «Географическо-статистического словаря Российской империи»; составленного П. П. Семеновым (Тянь-Шанским). По гидрографии суши статьи словаря, как говорится в предисловии к нему, охватывают «все судоходные и сплавные реки, а также все реки, превышающие 50-верстное протяжение в Европейской и 100-верстное в Азиатской России, а также и меньшие горные реки, замечательные своими долинами или золотыми россыпями; замечательные пороги, скалы, острова и мысы, встречающиеся вдоль течения судоходных рек; пристани на этих реках; озера, превосходящие 10 верст в одном из диаметров; болота того же размера; все сколько-нибудь значительные соленые озера, обширные солончаки, минеральные источники, все искусственные коммуникационные каналы и системы их» (Семенов, 1863—1866). Словарь П. П. Семенова подытожил все известные к тому времени сведения по географии России, в том числе богатейшие сведения, добытые знаменитыми общегеографическими экспедициями, проведенными по поручению общества самим составителем словаря П. П. Семеновым (1856—1857 гг.), а затем Н. М. Пржевальским и другими смелыми русскими путешественниками в малодоступные области Азии. В «Географическо-статистическом словаре» получили обобщение накопленные к тому времени сведения по гидрографии нашей Родины.

<sup>1</sup> Позже, в 1902 г., В. В. Бартольд, анализируя в своей работе «Сведения об Аральском море и низовьях Амударьи с древнейших времен до XVIII в.» различные источники, признал достоверность свидетельства о том, что в 1221—1573 гг. имела место бифуркация Амударьи и небольшая часть ее вод направлялась в Сарыкамышскую впадину, а из нее по древнему руслу, Узбою, в Каспийское море. Согласно новейшим данным, сток из Сарыкамышья в Каспий по Узбою в средние века существовал, но происходил периодически.

<sup>2</sup> Относительно происхождения Узбоя имеется несколько гипотез. Так, Л. С. Берг считал, что «Узбой — это соединявший некогда Каспий и Арал пролив, служивший затем руслом для стока вод Арала в Каспий, а впоследствии временно занятый рекой, подобно тому, как, например, Волга в среднем течении занимает долину, существовавшую еще в неотическую эпоху, когда высоты правого берега Волги служили берегом неотического моря» (Берг, 1908, стр. 525). В 1953 г. А. А. Ямновым и В. Н. Куниным по поводу происхождения Узбоя была высказана следующая точка зрения (Ямнов и Куни, 1953). Пра-Амударья, впадавшая в доисторическое время в Каспийское море, в период континентальных оледенений вследствие общего похолодания и увлажнения климата вместе с увеличением водоносности значительно увеличила и свой твердый сток. Разгружаясь в дельте, она постепенно преградила себе наносами путь в Каспий и, все более уклоняясь вправо, с течением времени прорвалась на север и вызвала соединение Арала и Сарыкамышья. Переполнившийся Сарыкамыш избыток своих вод излил на юг и дал начало Узбою, который по системе озер соединил, наконец, Арал и Каспий. Сток по Узбою прекратился во II—I тысячелетиях до н. э. Периодически он вновь возникал в XV—XVII вв.

Ценной сводкой по озерам страны явилась изданная в 1859 г. работа В. П. Кешпена «Главнейшие озера и лиманы России», а также капитальный труд И. Стрельбицкого «Исчисление поверхности Российской империи в общем ее составе в царствование императора Александра II», опубликованный в 1874 г. В нем приведены сведения о 5800 озерах Европейской России.

Таким образом, в течение рассмотренного периода, охватывающего почти два столетия, гидрографическое изучение страны значительно продвинулось вперед. Реки и большие озера получили правильное в смысле направлений течений и очертаний изображение на картах. Однако изучение водного режима рек еще не имело систематического характера, лишь в небольшом числе пунктов производились наблюдения за колебаниями уровней, а измерений расходов воды имелось всего несколько случаев.

**Гидрографические исследования в 1875—1914 гг.** В послереформенное время русское правительство под давлением потребностей экономического развития страны начинает обращать более пристальное внимание на дело развития водных путей, которые, как это стало ясно уже вскоре после сооружения главнейших линий железных дорог, не могли быть полностью вытеснены последними. Причем главное состоит в том, что была осознана необходимость организации всестороннего изучения рек. Свидетельством этого является прежде всего создание в 1875 г. при министерстве путей сообщения Навигационно-описной комиссии (НОК).

До исследований Навигационно-описной комиссии по существу мало что было известно о большинстве наших рек, кроме направления их течения. Как говорил председатель Навигационно-описной комиссии П. А. Фадеев, «даже не было известно в точности их протяжение» (Труды съезда инженеров-гидротехников в 1892 г., 1892, стр. 1). Так, например, длина Волги указывалась в «Гидрографии» Штукенберга равной 3160 верстам, а в словаре Семенова — 3480 верстам; длина Дона — соответственно 1650 и 2000 верстам. Было решено приступить с 1875 г. «к всестороннему научному исследованию, нивелировке и измерению глубин рек, каналов и озер Европейской России и вообще к их подробному описанию в техническом и экономическом отношении» (Журнал МПС, 3, 1875).

Деятельность Навигационно-описной комиссии, существовавшей по март 1884 г., заключалась, во-первых, в съемке, измерении и описании рек и, во-вторых, в организации сети водомерных постов и гидрометрических станций для изучения режима уровней и водоносности рек.

Организованные НОК (а затем департаментом водяных и шоссейных сообщений) описные партии произвели до 1900 г. изучение и рекогносцировочное обследование всех главнейших рек России, в том числе Волги, Камы, Вятки, Чусовой, Белой, Суры, Оки, Мологи, Северной Двины, Сухоны, Волхова, Свири, Западной Двины, Вислы, Немапа, Днепра, Припяти, Днестра, Дона, Северного Донца, Кубани, Оби, Иртыша, Томи, Тобола, Туры, Ангары, Амура, Амударьи, озер Белого, Ильменского, Опежского и соединительных каналов.

По каждой исследованной реке были составлены подробные планы в масштабе 50—250 саженей в 0,01 сажени с показанием глубин. Нивелировки берегов и уровней воды, привязанные к прочным опорным точкам (реперам), дали возможность составить продольные профили рек. В 1886—1910 гг. были изданы подробные и сокращенные планы и продольные профили следующих исследованных рек: Днепра (г. Смоленск — лиман), Оки (г. Кашира — р. Волга), Камы (г. Дедюхин — р. Волга), Волги (р. Рыбинск — г. Казань), Суры (г. Васильсурск — г. Пенза), Северной Двины (р. Вытегра — р. Вага), Западной Двины (ниже Витебска), Волхова (оз. Ильмень — г. Новая Ладога), Ангары (оз. Байкал — р. Енисей), Дона (хут. Калач — р. Сосна), Амура (пос. Покровский — ст. Екатерино-Никольская), Десны (р. Болва — р. Днепр), Оби (г. Бийск — юрты

Тяговые), Томи (г. Томск — р. Обь), Иртыша (г. Семипалатинск — г. Омск).

Графические материалы, включавшие в себя также полные атласы исследований участков рек, сопровождались краткими описаниями исследований и объяснительными записками. Всего было издано до 50 названий монографий, сборников, отчетов, атласов и карт. Данные, полученные описными партиями, были использованы при издании в 1892 г. «Перечня внутренних водных путей Европейской России» и в 1895 г. «Перечня внутренних водных путей Азиатской России», явившихся значительным вкладом в гидрографию нашей Родины. В последнем перечне были помещены 161 река длиной 105 501 верста, 10 озер и 1 канал (Обь-Енисейский) длиной 7 верст. Перечень по Европейской России в 1907 г. был переиздан, а в 1911 г. были изданы дополнения и исправления к нему. В перечень 1907 г. вошли 3162 реки длиной 126 508 верст, 201 озеро длиной по направлению главного судоходного рейса 2348 верст и 135 каналов длиной 2727 верст, в том числе 32 судоходных и сплавных канала длиной 750 верст и 92 сплавных и осушительных канала длиной 1891 верста.

Ценным приложением к перечню 1907 г. была «Карта внутренних водных путей Европейской России» в масштабе 40 верст в 1 дюйме, с изображением рек, озер и каналов, вошедших в перечень, и с показанием отметок высот средних уровней воды в реках, озерах и каналах относительно уровня моря.

В 1883 г. А. А. Тилло опубликовал работу о длине рек европейской части страны (Тилло, 1883), а в 1888 г. — «Карту длины и падения рек Европейской России».

В 1876 г. на внутренних водных путях было открыто 132 постоянно действующих поста. Рост числа водомерных постов в последующие годы виден из табл. 15.

Таблица 15. Развитие сети водомерных постов на реках и озерах России

Год	Число водомерных постов			Год	Число водомерных постов		
	всего	в том числе			всего	в том числе	
		I разряда	II разряда			I разряда	II разряда
1876	133	67	66	1880	341	107	234
1877	286	90	196	1890	384	143	241
1878	331	99	232				

Таким образом, за 1876—1890 гг. число водомерных постов в нашей стране возросло примерно в 3 раза.

В 1881 г. впервые были изданы сведения об уровнях воды в реках и озерах Европейской России.

Навигационно-описная комиссия положила начало изучению водоносности рек. Начиная с 1880 г. описными партиями на реках Волге, Оке, Каме, Днепре, Северной Двине были организованы гидрометрические станции, которые кроме наблюдения за уровнями в течение нескольких лет производили измерение скоростей течения и расходов воды и влекомых наносов.

По 110 измерениям расходов, произведенным в 1888—1900 гг. Самарской гидрометрической станцией, Д. Д. Гнусин вычислил в 1901 г. значения расходов Волги у г. Самары (Куйбышева), которые оказались равными (в  $m^3/сек$ ) (Гнусин, 1901):

Наименьший	2880
Наибольший	43 770
Средний межени	5900
Средний весенний	23 770
Средний годовой	9750

Д. Д. Гнусин подсчитал, что во время весеннего половодья (в среднем за 79 дней) по Волге протекает до 52,5% годового объема воды.

Начало систематического изучения водоносности Днепра также было положено Навигационно-описной комиссией, приступившей в 1876 г. к подробному описанию и исследованию реки. Но по расходам для некоторых пунктов, например для Киева, имелись и несколько более ранние сведения. Подсчеты за 27 лет (1870—1896 гг.), произведенные Н. И. Максимовичем (Максимович, 1901), дают среднегодовой расход воды Днепра у г. Киева, равный 1950 м<sup>3</sup>/сек. Причем средний расход при «низком» горизонте (продолжительностью 62,93 суток) оказался равным 520 м<sup>3</sup>/сек, а при «весьма высоком» (продолжительностью 2,27 суток) — 15 520 м<sup>3</sup>/сек. Н. И. Максимович дает подсчет среднесреднего коэффициента стока (или, как тогда говорили, коэффициента водоносности), который получился для бассейна Днепра выше Киева равным 0,353<sup>1</sup>.

В прямой связи с практическим изучением рек, предпринятым министерством путей сообщения, находится появление в рассматриваемые годы ценных сочинений по гидрографии отдельных рек и речных систем. В некоторых из них трактовались также теоретические вопросы гидрологии. В последнем отношении особенно выделяются работы В. М. Лохтина «Река Днестр, ее судоходство, свойства и улучшение» и «Река Чусовая».

Крупной работой явилась вышедшая в 1887 г. и уже называвшаяся нами монография Н. А. Богуславского «Волга как путь сообщения». В ней автор наряду с подробным гидрографическим описанием реки, главной водной артерии России, разбирает вопрос о так называемом обмелении Волги. обстоятельное рассмотрение этого вопроса приводит Н. А. Богуславского к заключению, что в пользу мнения об обмелении Волги не существует ни одного убедительного факта и что вопрос этот может быть решен только в будущем, после продолжительного периода наблюдений.

В том же году вышла книга М. С. Чернышева «Иртыш», в которой дается детальный гидрографический обзор этой важнейшей сибирской реки.

Реки Северного Кавказа и Закавказья нашли обстоятельное описание с обзором истории их исследования в труде М. Н. Герсеванова «Очерк гидрографии Кавказского края», изданном в 1886 г.

Подробному описанию рек Амурского бассейна посвящены вышедшие в 1897 г. два сочинения: Р. О. Юргенсона «О судоходном состоянии р. Амура с притоками» и В. Е. Тимонова «Очерк главнейших рек Приамурского края».

Гидрография страны в целом нашла освещение в работе И. Ф. Леваковского «Воды России по отношению к ее населению» (1890).

Наконец, к числу крупных работ, созданных в рассматриваемое время, относится уже называвшийся капитальный труд Н. И. Максимовича «Днепр и его бассейн». В своей книге Н. И. Максимович излагает историю изучения Днепра с древнейших времен, дает подробный обзор гидрографии его бассейна и освещает гидрологию этой важнейшей водной артерии.

Объем изысканий на реках после окончания работ Навигационно-описной комиссии (до конца XIX в.) был незначительным. Некоторое оживление в исследовании рек относится лишь к началу нового столетия.

<sup>1</sup> Как увидим дальше, это значение является преувеличенным. По данным Е. В. Ополова, коэффициент стока Днепра выше Киева равен 0,242 (см. стр. 00).

В это время заметно усилилась изыскательская деятельность ряда округов путей сообщения. Вместе с тем Управлением водных путей стали вновь создаваться описные партии. Так, с 1904 г. начали работать партии по изысканиям на реках Неве, Оке, Северном Донце, на притоках Северного Донца и Дона; с 1906 г. — на Западной Двине, на Дону; с 1907 г. — на реках Чуне и Чулыме; с 1908 г. работала партия для исследования р. Ухты и сообщения ее с реками Северной Двиной и Камой. Особое внимание было обращено на малоизученные и вовсе неизученные реки Сибири и Дальнего Востока. С 1907 г. работали Енисейская, Амурская, Селенгинская, Зейская описные партии. С работой названных партий связаны имена известных деятелей в области русской гидрографии — Н. П. Пузыревского, В. М. Родевича, А. И. Фидмана, Е. В. Близняка, О. О. Тейхмана, Е. Г. Йогансона и др.

Большие работы по исследованию дальневосточных рек с начала нового столетия провело Управление водных путей Амурского бассейна.

Продолжала расти, хотя и крайне медленно, сеть водомерных постов на реках и озерах. Всего в ведомстве путей сообщения к 1 января 1903 г. на внутренних водных путях Европейской и Азиатской России действовало 527 постоянных водомерных постов.

Изучение стока рек в 1901—1910 гг. по-прежнему было развито слабо, стационарные наблюдения велись на нескольких гидрометрических станциях.

Важным делом, начатым в 1902 г. Управлением водных путей, явилось издание новой серии трудов по гидрографии и гидрологии рек под общим названием «Материалы для описания русских рек и истории улучшения их судоходных условий». Всего в 1902—1917 гг. вышло 73 выпуска этой ценной серии.

Для суждения о степени исследованности рек и озер в качестве путей сообщения до того, как эти работы вновь получили с 1910 г. некоторую плановость, можно привести следующие данные (Межведомственная комиссия..., 1910, стр. 78). За 1874—1908 гг. было исследовано: в бассейне Каспийского моря — подробно рек 13 525 верст, озер 1182 кв. версты, рекогносцировочно рек 3536 верст; в бассейне Черного и Азовского морей — подробно рек 12 053 версты, озер 63 кв. версты, рекогносцировочно рек 490 верст; в бассейне Балтийского моря — подробно рек 5126 верст, озер 3251 кв. верста, рекогносцировочно рек 1008 верст, озер 6911 кв. верст; в бассейне Северного Ледовитого океана и Белого моря — подробно рек 11 260 верст, рекогносцировочно 7324 версты; на водоразделах — подробно рек 5027 верст, озер 14 619 кв. верст, рекогносцировочно 1604 версты, озер 22 281 кв. верста. Добавим еще сюда реки амурского бассейна, исследованные до 1909 г.: подробно 3671 верста, рекогносцировочно около 3000 верст. Таким образом, общее протяжение рек, исследованных к 1909 г. подробно или рекогносцировочно, равнялось примерно 67 600 верстам. Если это число отнести к числу судоходных и сплавных рек, которых в Европейской России по данным «Перечня» 1907 г. считалось 168 278 верст и в Азиатской России по данным «Перечня» 1911 г. 94 193 версты, а всего, следовательно, около 262 500 верст, то окажется, что к началу второго десятилетия XX в. инженерными исследованиями было охвачено всего около 1/4 общего протяжения сплавных и судоходных рек России, и даже несколько меньше, так как в число протяжения исследованных рек в некоторых случаях вошли также повторные исследования.

Водные исследования министерства путей сообщения с 1910 г. снова приобрели интенсивное развитие и определенную плановость. В марте 1909 г. министерством путей сообщения по согласованию с заинтересованными ведомствами была создана Межведомственная комиссия для составления плана работ по улучшению и развитию водяных сообщений империи под председательством В. Е. Тимонова.



Для того чтобы определить очередность исследования рек и водоразделов, комиссия наметила схему главных магистралей внутренних водных путей. Установленную комиссией схему составили следующие магистрали, или пути первого разряда: 1) Северороссийская, 2) Среднероссийская, 3) Южнороссийская, 4) Черноморско-Балтийская, 5) Каспийско-Балтийско-Беломорская, 6) Обская, 7) Енисейская, 8) Ленская.

Таким образом, установленная комиссией схема основных магистралей внутренних водных путей представляла собой соединенную в единое целое обширную сеть водных путей сообщения обеих частей России.

Для руководства гидрографическими и гидрологическими исследованиями в составе Управления внутренних водных путей и шоссейных дорог в 1910 г. было создано бюро исследований водных путей, возглавлявшееся В. М. Родевичем. С весны 1911 г. изыскательские партии приступили к исследованию на реках и водораздельных участках почти всех водных магистралей.

В результате гидрографических работ, проводившихся ведомством путей сообщения в 1901—1915 гг., были впервые или дополнительно изучены с различной степенью подробности следующие реки: Амур и реки его системы — Шилка, Зeya с притоками Селемджой, Деном, Гилюем, Аргунь, Уссурй с Сунгачей, Бурей, Амгунь; Лена и Витим; Селенга и Баргузин; Енисей и реки его бассейна — Ангара, Нижняя Тунгуска, Подкаменная Тунгуска, Пит, Абакан, Туба, Кас; реки обского бассейна — Чарыш, Бия, Чумыш, Алей, Кеть, Чулым, Томь, Северная Сосьва; Иртыш и реки его системы — Ишим, Тобол, Исеть, Тура, Тавда с Южной Сосьвой, Или; Волга и реки ее бассейна — Тверца, Шексна, Кострома, Москва, Клязьма, Ока, Ветлуга, Южная Кельтма, Колва, Сытва, Чусовая, Уфа, Белая, Вятка, Кама и др.; Вычегда, Вымь, Северная Кельтма, Сухона; Вологда, Печора с Ижмой и Ухтой, Кемь, Выг, Суна, Сегежа, Нева, Свирь, Волхов, Западная Двина; Днестр; некоторые участки Днепра и почти все его притоки (Вопь, Березина с притоками, Сож с притоками, Припять с притоками, Тетерев, Десна с притоками; Сула, Псел, Самара, Ингулец и др.); Ингул; нижний Дон и Северский Донец; реки Кавказа — Кубань, Кура, Рион и др.

Для изучения колебания уровней партиями было устроено дополнительно к действовавшим большое количество новых водомерных постов. К началу 1917 г. в системе ведомства путей сообщения действовало 845 постов (к 1903 г. их было 527).

Важным моментом в деятельности министерства путей сообщения по гидрологическому изучению рек является создание в 1912 г. сети постоянных гидрометрических станций со сроком действия до 5 лет. Общее количество гидрометрических станций ведомства путей сообщения, действовавших в 1912—1917 гг., доходило до 40.

Большое значение в гидрографическом изучении России имели экспедиционные исследования, проведенные в рассматриваемый период министерством государственных имуществ в связи с проектами осушения и орошения земель. В 1873 г. была начата деятельность Западной и Северной экспедиций по осушению болот под руководством И. И. Жилинского. Районом работ Западной экспедиции явилась обширная территория Полесья, или Пинских болот, представляющая бассейн р. Припяти, правого притока Днепра площадью около 8 млн. десятин (более 88 тыс. км<sup>2</sup>), в том числе до 3 млн. десятин открытых болот.

Проведенные в 1873—1874 гг. изыскания показали ошибочность существовавшего до того мнения, что болота Полесья не имеют никаких склонов и лежат даже ниже ближайших рек, что большая часть местных рек, в особенности Припять, не имеют достаточных уклонов и что болота образовались и поддерживаются подземными источниками, имеют очень большую глубину и поэтому не могут быть осушены.

Относительно питания рек Полесья было установлено, что основные массы воды поступают в них из мест, расположенных за пределами Полесья, главным образом с Волынских высот, которые, имея значительную облесенность, задерживают большое количество атмосферной влаги.

Работы Северной экспедиции по осушению болот проводились в Петербургской, Новгородской, Псковской и Прибалтийских губерниях. Площадь болот, на которой велись изыскания, составила около 2 млн. десятин.

В 1895 г. широкие мелиоративные изыскания и работы были начаты также в Сибири. Они были возложены на образованную министерством земледелия и государственных имуществ весной 1895 г. экспедицию в составе четырех гидротехнических партий под общим руководством И. И. Жилинского. Районами деятельности гидротехнических партий явились расположенная по обе стороны от линии железной дороги на водоразделах рек Тобола, Ишима и Иртыша бедная доброкачественными питьевыми водами Ишимская степь и заболоченная низменность между реками Иртышом и Обью, в бассейне озер Чаны и Сартлан и верхнего течения р. Оби, носящая название Барабинской степи.

Изысканиями, расширившимися с 1898 г. за пределы указанных степей, к 1904 г. был охвачен огромный район площадью свыше 1 млн. км<sup>2</sup>. Программа изысканий в основных районах включала в себя топографические съемки, гидрогеологические исследования и гидрометрические наблюдения.

Что касается гидрометрических работ, то объем их был весьма ограниченным: лишь на нескольких реках были произведены единичные измерения расходов воды; наблюдения за колебаниями уровней велись в редких случаях.

В 1880 г. при министерстве государственных имуществ была организована экспедиция по орошению на юге России. Однако по ряду причин заметное развитие изыскания Южной экспедиции получили лишь в следующие десятилетия, в 1892—1902 гг., причем с 1890 г. они были распространены также и на Северный Кавказ, Закавказье, Семиреченскую (бассейн р. Или) и Уральскую области. В Закавказье заведование всем водным хозяйством было возложено на особую инспекцию вод, которая должна была произвести водные исследования для целей орошения и осушения и защиты от наводнений. К исследованиям оказалось возможным приступить лишь с 1899 г. В 1901—1902 гг. были проведены обширные изыскания в целях составления проекта регулирования р. Терека. В те же годы изыскательские работы были развернуты в Муганской степи в Закавказье на площади более 300 тыс. десятин.

Среди экспедиций, проведенных в конце XIX в. ведомством государственных имуществ, большое значение для развития гидрологии имели Особая экспедиция по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях России под руководством В. В. Докучаева и Экспедиция по исследованию источников главнейших рек Европейской России под руководством А. А. Тилло, а после его смерти в 1899 г. — под руководством Ф. Г. Зброжека. Исследования обеих экспедиций имели главным образом гидрологические цели, но вторая из них доставила много ценных сведений и по гидрографии рек и озер.

Районом деятельности экспедиции для исследования источников главнейших рек Европейской России явилась водораздельная полоса, на которой находятся истоки Днепра, Угры, Десны, Жиздры, Оки, Дона, Воронежа, Сейма, Цны, Мокши, Суры, Хопра, Медведицы и Битюга.

Задача исследовательских работ экспедиции в общих чертах заключалась «в собрании разносторонних сведений о настоящем положении возможно большего числа типов истоков и условий питания среднерусских рек, об имеющихся около них лесонасаждениях, о рельефе местно-

сти, о геологическом ее строении, о почвах, о водоносных горизонтах, о стоящих в связи с реками озерах и болотах и пр.» (Об охране водных богатств..., 1898, стр. 7).

После того как в 1894—1895 гг. были произведены рекогносцировочные обследования, экспедиция приступила в 1896 г. к систематическому изучению и описанию следующих восьми бассейнов, общая площадь которых составляет более 1½ млн. десятин: 1) бассейнов истоков р. Волги до впадения в нее р. Салижаровки и всего бассейна последней; 2) бассейна истоков р. Днепра до впадения в него р. Вязьмы; 3) бассейна верховьев Оки до г. Орла; 4) бассейна верховьев р. Красной Мечи до впадения в нее р. Гоголя; 5) бассейна рек Дона и Непрядвы до их слияния; 6) бассейна верховьев р. Сызрани до слияния ее с р. Канадей; 7) бассейна рек Сейма и Семицы до их слияния; 8) бассейна верховьев рек Западной Двины, Межи и Обши.

Работы проводились в соответствии с подробно разработанными инструкциями для каждого рода исследований. По изучению рек в общих указаниях для всех отделов экспедиции предусматривалось: «На всех речках и ручьях определяется точное положение их истоков в день наблюдения и в разное время года по расспросным сведениям. При каждом удобном случае определяется ширина, глубина реки и расход воды» (Инструкции и программы..., 1895, стр. 7).

Большое внимание экспедиция уделила исследованию озер, расположенных в области верховьев Волги и Западной Двины, на Валдайской возвышенности. Результатом этих исследований явился труд Д. Н. Анучина «Верхневолжские озера и верховья Западной Двины» (1897).

Исследования Д. Н. Анучина имели в виду прежде всего выяснение водности озер, поэтому главное внимание было уделено измерению глубин. На наиболее крупном озере района исследований — Селигере (площадь 259,7 км²) было произведено 7704 промера глубин на 191 профиле. Измерение глубин позволило составить батиметрические карты озер.

В рассматриваемое время велись исследовательские работы и на других озерах. Обстоятельные исследования были проведены морским ведомством в 1873—1893 гг. на Онежском озере — втором по величине озере Европы, соединяющемся с Ладожским озером р. Свирью. Сначала экспедицией руководил А. П. Андреев, затем Ф. К. Дриженко. В результате работ были составлены «Временные карты Онежского озера»: генеральная карта глубин и три карты отдельных частей озера (Молчанов, 1946). Постоянные водомерные наблюдения на озере были начаты в 1876 г. В 1897 г. С. А. Советовым по поручению Географического общества были измерены на различных глубинах температуры воды Онежского озера.

Изучению Ладожского озера значительно способствовали экспедиции Географического общества, работавшие на озере в 1897, 1899, 1901 и 1903 гг. под руководством Ю. М. Шокальского.

В 1891 г. В. В. Нагаевым впервые были произведены промеры глубин Иссык-Куля. Первое обстоятельное описание озера дано в 1904 г. Л. С. Бергом в его работе «Озеро Иссык-Куль». Под его руководством были проведены в 1900—1902 гг. широкие исследования на Арале, результаты которых изложены в вышедшей в 1908 г. его монографии «Аральское море».

В 1904 г., а затем в 1913—1915 гг. большие работы на Каспии были проведены экспедициями под руководством Н. М. Книповича.

Экспедицией 1896—1903 гг., организованной гидрографическим управлением морского министерства под руководством Ф. К. Дриженко, был доставлен большой картографический материал по Байкалу, а также сведения о детально измеренных глубинах всего озера.

С 1910 г. значительно расширилось исследование рек Отделом земельных улучшений (ОЗУ) Главного управления землеустройства и зем-

леделия. Объектами этих исследований были реки Туркестанского края<sup>1</sup>, Кавказа, Крыма, Сибири, Дальнего Востока и Европейской России.

Исследования ОЗУ, наиболее интенсивно проводившиеся в Средней Азии, имели в виду прежде всего задачу использования рек для ирригации. Сведений о водоносности рек Средней Азии к этому времени имелось очень мало. На небольшом числе водомерных постов (около 25) с более или менее длительными сроками наблюдения, впервые организованных в 1895 г. и находившихся в ведении Туркестанского управления земледелия и государственных имуществ, до 1907 г. было измерено всего 11 расходов воды.

В 1910 г. в г. Ташкенте при Туркестанском управлении земледелия и государственных имуществ была создана гидрометрическая часть, основной задачей которой явилось систематическое производство исследований в целях учета и изучения водных богатств края вообще, и прежде всего его важнейших водных источников. Заведующим гидрометрической частью был назначен известный впоследствии ученый-гидролог В. Г. Глушков.

Гидротермической частью на 62 реках, 10 каналах и 5 озерах было устроено 14 постоянных гидрометрических станций и 112 водомерных постов. В 1910—1915 гг. на реках края было произведено более 3 тыс. измерений расходов воды.

Для выяснения возможностей развития орошения в Туркестанском крае отдел земельных улучшений организовал ряд изыскательских партий, которые к 1914 г. охватили исследованиями бассейн почти всех главных водных артерий края, причем главное внимание было сосредоточено на бассейне р. Сырдарьи, занимающем центральное положение в крае и представляющем наибольший хозяйственный интерес как по водным запасам, так и по топографическим и почвенным условиям.

Крупные изыскательские работы были развернуты в бассейне р. Аму-дарьи, до того очень мало исследованном, а также в Семиречье.

В итоге работ, интенсивно проводившихся партиями ОЗУ в Средней Азии в 1910—1915 гг., инженерно-гидрологическими исследованиями были охвачены все значительные реки этого обширного края.

С 1910 г. началось систематическое изучение водоносности и режима рек Кавказа. В 1910 г. здесь, так же как и в Туркестане, была организована гидрометрическая часть. Вся гидрографическая сеть Закавказья, где главным образом и производились гидрометрические работы, была разделена на шесть районов: Черноморский, Верхнекурипский, Нижнекурипский, Верхнеараксинский, Нижнеараксинский и Каспийский. Всего действовало около 10 гидрометрических станций и свыше 100 водомерных постов, из них два лимниграфных.

На Северном Кавказе изыскательские работы для нужд орошения, регулирования рек, обводнения и устройства водохранилищ в верховьях рек были сосредоточены в бассейне р. Терека.

С 1910 г. усилились водные исследования в ряде районов Сибири и Дальнего Востока, а именно в районах, предназначавшихся для освобождения переселенцами из Европейской России.

Во время первой мировой войны гидрографические работы почти полностью прекратились. Уже в 1915 г. полевые изыскания проводились в очень незначительном объеме.

Отмечая достижения гидрографии дореволюционной России, следует

<sup>1</sup> Туркестанским краем до революции называлась территория, ограниченная с запада рекой Уралом и Каспийским морем, с севера линией между северной оконечностью Аральского моря и южной оконечностью оз. Балхаш, с востока Алтаем и границей с Китаем, Индией, Пакистаном, Афганистаном и Ираном. Край (генерал-губернаторство) делился на пять областей: Сырдарьинскую, Самаркандскую, Ферганскую, Семиреченскую и Закаспийскую, а также включал в себя полунезависимые ханства Хиву и Бухару.

вместе с тем указать на то, что изучением были охвачены даже не все реки средней по длине величины. Достаточно сказать, что в «Перечнях» судоходных и сплавных рек 1907 и 1911 гг. общая протяженность учтенных в то время рек этой категории равнялась только 280 тыс. км. По отношению к протяженности ныне учтенных рек длиной более 100 км, равной почти 900 тыс. км, 280 тыс. составляют только около 30%.

**Гидрографические исследования советского времени.** Гидрографические и гидрологические исследования на реках и озерах и в их бассейнах в советский период проводились в тесной связи с решением задач развития народного хозяйства страны. Основные экспедиционные и стационарные исследования освещены в работе А. А. Соколова и А. И. Чеботарева «Очерки развития гидрологии в СССР» (1970), откуда главным образом и заимствованы приводимые ниже краткие сведения.

В первые послереволюционные годы водные исследования в основном были подчинены задачам осуществления ленинского плана электрификации страны (плана ГОЭЛРО). Так, в течение 1921—1927 гг. были проведены обширные работы в бассейнах р. Волхова и оз. Ильмень, в 1928—1933 гг. — на р. Свири и побережье Онежского озера. Днепр и его притоки всесторонне изучались в 1921—1932 гг. в связи с проектированием и строительством замечательного гидросооружения первой пятилетки — Днепрогэса.

Большие водные исследования, предшествовавшие проектированию и строительству Беломорско-Балтийского канала, были проведены в 1930—1932 гг. на реках и озерах Карелии. В 20—30-х годах на реках Карелии и Мурманской области велись обширные исследования в целях их гидроэнергетического использования. С той же целью велись изыскания на Алтае, в верховьях Оби и Иртыша, на реках Урала.

Крупные исследования в 30-х годах были проведены на верхней и нижней Волге в связи с задачей комплексного решения проблемы использования вод этой реки, а также в Среднем и Нижнем Заволжье в связи с проектом орошения его территории. В 20—30-х годах велись изыскания в бассейнах верхнего Енисея и Ангары, связанные с проектами энергетического и транспортного использования этих рек. Обширные съемочно-гидрографические работы производились на реках Лене, Киренге, Витиме, Олекме, Алдане, Хатанге, Яне, Колыме, Индигирке, а также на нижнем Амуре. В результате съемок территорий Азиатского Севера и Северо-Востока СССР «находили свое место на карте целые системы рек» (Фрадкин, 1967, стр. 323), а известные реки, например в бассейне Колымы, были «сдвинуты» (на карте) на 200—250 км (Гвоздецкий, 1957).

С 20-х годов до Великой Отечественной войны много внимания было уделено изучению озер (ранее других — Севана, Ильменя, затем — Ладожского, Онежского, Балхаша, Белого). В 1932—1938 гг. в ряде районов проводилось сплошное обследование малых и средних озер.

С 20-х годов проводились исследования ледников. Было установлено наличие ледников на Урале, которых теперь там насчитывается около 150.

Изучение ледников СССР особенно широко было развернуто во время Второго международного полярного года (1932—1933 гг.), когда исследованиями были охвачены ледниковые области Кавказа, Тянь-Шаня, Памира, Алтая, Урала. Позже благодаря аэрофотосъемке была открыта крупная ледниковая область — четвертая по величине в СССР — в пределах бассейна р. Индигирки и прилегающих горных территорий.

В послевоенное время, когда в стране развернулись гидротехнические работы (строительство электростанций с огромными водохранилищами при них, межбассейновых соединительных каналов, оросительных и осушительных каналов и систем и др.) соответственно сильно возрос и масштаб водных исследований. Не имея возможности дать здесь хотя бы краткий обзор гидрографических исследований за последнее 25-летие, результаты которых нашли отражение в справочниках по гидрологиче-

ской изученности территории СССР, изданных в 1962—1968 гг., мы далее приведем лишь сведения о том, как развивались знания об общем количестве водных объектов территории СССР.

Вопрос о гидрографической изученности СССР к 30-м годам нашел освещение в докладе В. М. Родевича «Водные ресурсы СССР и их использование», сделанном им на междуведомственной водохозяйственной конференции, проведенной Госпланом СССР в 1932 г. В докладе указывалось, что «общее число и протяжение рек Союза, так же как и озер, весьма велико, но за отсутствием кадастра вод — неизвестно» (Родевич, 1932). В. М. Родевич полагал, что рек в стране должно быть до 10 тыс. названий с общей длиной не менее 500 тыс. км. Однако проведенная в 1940—1941 гг. под его же руководством работа по определению числа рек и озер страны показала, что его предположения были весьма далекими от действительности, поскольку итогом подсчета было 117 117 рек с общей длиной 2 413 033 км. Одновременно был произведен и подсчет количества озер, но результат — 70 988 озер — был очень далек от реального числа.

Сопоставим, далее, сведения о реках и озерах СССР, содержащиеся в первом (1952 г.) и втором (1964 г.) изданиях «Гидрографии СССР» А. А. Соколова. В первом издании указывается, что общее количество рек СССР превышает 150 тыс., а их общая длина достигает 3 млн. км. Об озерах сказано, что, по данным И. В. Молчанова, в СССР насчитывается около 250 тыс. озер, не считая малых водоемов, количество которых не поддается точному учету. В издании 1964 г. числа таковы: общее число рек — 777 260, их суммарная длина 5 095 000 км, число озер 2500 тыс. Но последние данные являлись промежуточными результатами проводившейся управлениями Гидрометслужбы СССР под руководством Государственного гидрологического института инвентаризации рек и озер страны. Полные результаты опубликованы в 1971 г. в книге А. П. Доманицкого, Р. Г. Дубровиной и А. И. Исаевой «Реки и озера Советского Союза».

Основные данные этой работы приводятся в табл. 16 и 17.

Таким образом, результаты проведенного учета рек и озер СССР во много раз перекрыли называвшиеся ранее оценки как количества, так и общей длины рек и суммарной величины площади поверхности озер. Понятно, что учет гидрографических объектов, очевидно близкий к полному, стал возможным благодаря наличию крупномасштабных карт, составленных по материалам аэрофотосъемок.

Объемы озерной воды приведены лишь для 97 озер, т. е. указаны даже не для всех 160 водоемов с площадью зеркала более 100 км<sup>2</sup>. Количество воды в озерах СССР остается известным лишь приблизительно (об опубликованных в 1973 г. подсчетах Р. А. Нежиховского будет сказано ниже).

В книге «Реки и озера СССР» впервые для всей территории страны приведена карта густоты речной сети бассейнов малых и средних рек и схема озерности СССР. Отметим, что если в 1964 г. средняя густота речной сети СССР считалась равной 0,22 км/км<sup>2</sup>, то новые данные о реках повышают эту характеристику до 0,43 км/км<sup>2</sup>. Кроме книги А. А. Соколова необходимо также назвать первый большой труд по гидрографии СССР Л. К. Давыдова, вышедший в 1953—1955 гг., и монографию М. И. Львовича «Реки СССР», опубликованную в 1971 г. Одной из важных особенностей последней работы является большое внимание, уделяемое в ней вопросам использования рек в различных хозяйственных целях, преобразования водного баланса и речного стока, мероприятиям по охране речных вод от загрязнения, по расширенному воспроизводству водных ресурсов.

Что касается ледников СССР, то, согласно Г. А. Авсюку, занятая ими площадь составляет около 78 тыс. км<sup>2</sup>, объем льда приближенно равен 16 тыс. км<sup>3</sup> (Авсюк, 1967, стр. 367).

Таблица 16. Реки СССР

Категория длин рек, км		Количество	Суммарная длина, км
Самые малые	<10	2 812 587	5 624 881
	10—25	113 974	1 697 939
Малые	26—100	32 733	1 426 288
Средние	101—500	3 844	669 861
Большие	>501	260	228 895
Всего		2 963 398	9 647 864

Таблица 17. Озера СССР

Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	Количество	Суммарные площади зеркала, км <sup>2</sup>
Менее 1	2 814 727	159 532
1—10	36 896	87 075
10—100	2 358	55 913
Более 100	185	185 920
Всего	2 854 166	488 440

Для территории СССР исключительно велико климатическое и гидрологическое значение снежного покрова. Недаром основы учения о снеге были заложены русским географом и климатологом А. И. Воейковым. Проблеме снега посвящено большое число работ советских географов, климатологов, гидрологов, в том числе М. А. Рыкачева, Г. Д. Рихтера, П. П. Кузьмина, В. Д. Комарова, А. К. Дюнина, В. М. Котлякова и др. М. А. Рыкачевым впервые были обобщены материалы наблюдений над высотой снежного покрова на европейской части СССР в 1891—1908 гг. (опубликовано в 1923 г.). В 1946 г. был издан подготовленный в ГГИ «Атлас максимальных снегозапасов Европейской части СССР за период 1892—1944 гг.» Начатые в 1935 г. массовые снегомерные съемки позволили составить карту распределения максимальных снегозапасов для всей территории СССР.

Проблемы географии снега и его влияния на физико-географические процессы впервые наиболее полно были освещены в монографии Г. Д. Рихтера «Снежный покров, его формирование и свойства» (1945).

## ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

Изучение и использование подземных вод имеет столь же длительную историю, как и изучение и использование вод поверхностных. Что же касается их количества, то, как мы видели, интерес к этому вопросу был проявлен еще Б. Варением, затем, 200 лет спустя, Ж. Бюффон писал, что «количество подземных вод... весьма невелико».

Первые оценки количества подземных вод относятся ко второй половине XIX — началу XX в. и проводятся в табл. 18.

В работе Ч. Сликтера «Подземные воды» (1912, стр. 7) указывается, что объем подземных вод он считает равным приблизительно 1/3 объема воды океана, именно 430 млн. км<sup>3</sup>.

Таблица 18. Первые оценки количества подземных вод (Саваренский, 1935, стр. 12) \*

Автор вычислений	Год	Количество подземной воды	
		в тыс. км <sup>3</sup>	в м высоты слоя воды, равномерно покрывающей земной шар
А. Делес (Франция)	1861	1 175 085	2304
Ч. Сликхтер (США)	1902	509 000	998
Ч. Ван-Хайс (США)	1904	35 260	68
М. Фуллер (США)	1906	15 040	29,3

\* В первом издании «Гидрогеологии» Ф. П. Саваренского подсчеты Делеса, Сликхтера, Ван-Хайса и Фуллера приведены уменьшенными в 10<sup>6</sup> раз, но во втором издании книги эта ошибка была исправлена. В вышедших в 1971 г. книгах В. Ф. Дерпгольца «Вода во Вселенной» и Е. С. Гавриленко и В. Ф. Дерпгольца «Глубинная гидросфера Земли» оценки Делеса, Сликхтера и Фуллера снова приведены в искаженном виде, в этом случае уменьшенными в 10<sup>9</sup> раз!

Укажем еще, что немецкий гидрогеолог Э. Принц определил в 1919 г. вероятное количество подземной воды в объеме 1 278 900 тыс. км<sup>3</sup>.

Очевидно, такие огромные расхождения в оценках объема подземных вод объясняются различием исходных оснований при вычислениях, прежде всего различиями в принимаемой авторами подсчетов толщине того слоя, в котором вода находится в жидком состоянии, а также разными значениями пористости пород, т. е. отношения объема пор и пустот к объему всей толщи. Так, подсчет Делеса, как и Принца, относится к толще до глубины 18 500 м, причем предположено, что содержание воды в породах земной коры равно 5% по весу или 12,5% по объему. В подсчете Сликхтера граница нахождения подземных вод принята 6 миль ниже поверхности суши и 5 миль ниже дна океана, а пористость пород предположена в размере 10%.

В табл. 18 объединены, как видно, несопоставимые по исходным условиям результаты определений. А условия эти исключительно сложны. Мы убедимся в этом, если хотя бы коротко, не углубляясь в историю, остановимся на вопросе о строении земной коры — самого вместилища подземных вод, о составе пород, о том, до каких глубин вода проникает в земную кору, в каких физических состояниях она в ней находится и в каких процентных количествах содержится в породах и минералах.

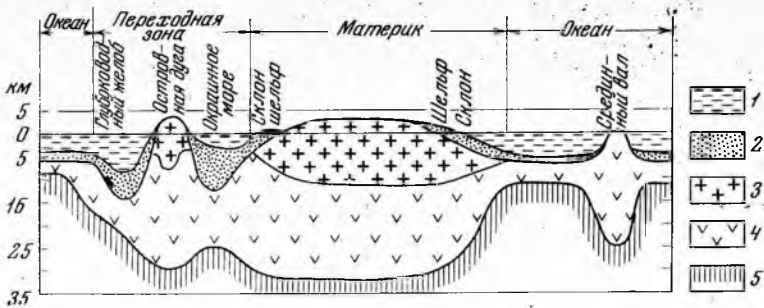
Уже давно признано, что Земля имеет оболочечное строение. Самая тонкая, верхняя оболочка носит название земной коры, или литосферы.

Породы, слагающие земную кору, образовались из минералов, выплавившихся в течение геологической истории из подкоревой оболочки — мантии.

Мощность земной коры в разных местах неодинакова и колеблется от 5 до 70—80 км, причем наибольшая толщина ее приходится на горные области, а наименьшая — на океанические впадины. Земная кора в свою очередь разделяется на слои. Самый верхний слой состоит из осадочных пород (глинистых, песчаников, известняков), по строению он прерывист, мощность его от 0 до 15—20 км. Глубже залегает гранитный слой, тоже прерывистый, отсутствующий в глубоких частях океанов; его мощность от 10 до 40 км. Ниже гранитного слоя находится базальтовый — первый слой, охватывающий непрерывно весь земной шар; толщина его достигает 30 км.

Представление о строении земной коры дает рис. 22, на котором изображен обобщенный схематический разрез земной коры по В. Е. Хаину (Хаин, 1961).





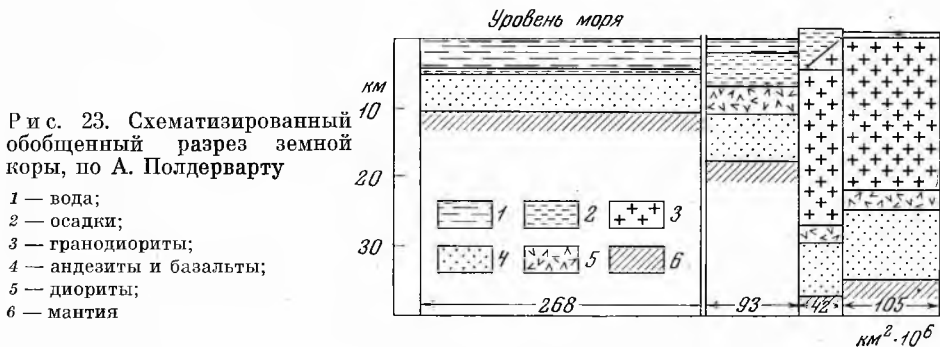
Р и с. 22. Обобщенный схематический разрез земной коры, по В. Е. Хаину  
 1 — вода; 2 — осадочный слой; 3 — гранитный слой; 4 — базальтовый слой; 5 — мантия

Согласно подсчету американского геохимика Ф. Кларка (1924 г.), объем земной коры до глубины 16 км составляет  $6800 \cdot 10^6 \text{ км}^3$ , а масса (при среднем удельном весе пород  $2,79 \text{ г/см}^3$ ) —  $19\,000 \cdot 10^{15} \text{ т}$ .

Свита осадочных пород составляет только около 5% указанного веса, причем на долю глинистых приходится 80%, песчаников 15% и известняков 5% массы осадочных пород до 16 км глубины (Ферсман, I, 1933, стр. 257).

В. И. Вернадский (1933) оценивал вес литосферы до 20 км числом  $32\,500 \cdot 10^{15} \text{ т}$ .

По А. Полдерварту (1955), масса всей литосферы составляет  $23\,666 \cdot 10^{15} \text{ т}$ , масса осадочных пород —  $1702 \cdot 10^{15} \text{ т}$  (т. е. немногим больше 6%), масса кристаллических пород —  $22\,192 \cdot 10^{15} \text{ т}$ . На рис. 23 представлен схематизированный обобщенный разрез земной коры по А. Полдерварту с указанием размера площадей четырех геологических областей и мощности слоев слагающих их пород.



Р и с. 23. Схематизированный обобщенный разрез земной коры, по А. Полдерварту

- 1 — вода;
- 2 — осадки;
- 3 — гранодиориты;
- 4 — андезиты и базальты;
- 5 — диориты;
- 6 — мантия

Вода в различных состояниях находится во всей толще земной коры. «Мы, — писал В. И. Вернадский, — не знаем в природе ни одного твердого тела, которое не заключало бы в своем составе воды» (Вернадский, IV, 2, стр. 160).

Для большинства минералов (60—70%) вода, как молекула, входит в их состав. Но, кроме того, все минералы, включая составляющие наиболее плотные массивно-кристаллические изверженные породы, имеют мельчайшие поры, занимаемые водой. Поры по размеру делятся на сверхкапиллярные (более 0,5 мм), капиллярные (0,0002—0,5 мм) и субкапиллярные (менее 0,0002 мм). Но как ни малы самые тонкие из них, для молекул воды они представляют очень обширные пространства.

Первые определения процентного содержания воды в горных породах относятся еще к XIX в., но более надежные сведения были получены из анализов пород и минералов в XX в.

По подсчету Ф. Кларка (1904 г.), в земной коре до глубины 10 км вода составляет в среднем 1,86% (по весу).

У И. Д. Лукашевича во II части его «Неорганической жизни Земли» (1909) приводятся сведения о содержании воды в 49 изверженных и 69 осадочных и кристаллизованных породах, относящихся к различным пунктам земного шара.

По поводу содержания воды в различных слоях земной коры И. Д. Лукашевич писал: «Все породы содержат некоторое количество воды, причем в осадочных породах процент воды значительно больше, чем в изверженных. Идя от поверхности Земли в глубь коры, мы будем встречать породы, все более и более бедные водой. В то время как породы на земной поверхности и до умеренных глубин содержат 4% воды, в зоне глинистых сланцев и филлитов воды 2,8%, в области кристаллических сланцев — 1,4%... Еще глубже лежит область гранитов, очень бедная водой — менее 1%, а затем при переходе к самым глубоким слоям коры, состоящим из тяжелых основных и ультраосновных пород, количество воды возрастает до 1—1½%, а сама магма насыщена водяными парами. При вулканических извержениях выделяется масса водяных паров, и новоизверженные породы, в особенности вулканические стекла, богаты водой (3—5%). Среднее содержание воды во всех изверженных породах 1,7%. Среднее содержание во всех породах, составляющих земную кору, 1,9%, а если прибавить к этому все пресноводные бассейны и водяные жилы в коре, то, пожалуй, количество воды в литосфере возрастет до 2%, что вместе с океанической водой составит 3,8% литосферы и гидросферы, вместе взятых» (Лукашевич, II, 1909, стр. 49).

Ф. Кларк в своей сводке 1924 г. среднее количество воды в осадочной толще определял в 4,28%, а в кристаллических породах — в 1,15%.

В. И. Вернадский называл (1933 г.) более высокие проценты содержания воды в земной коре. Он считал, что вода до глубины 20 км «не спускается ниже 8% по весу, и едва можно видеть признаки уменьшения ее количества для дальнейших глубоких частей земной коры примерно до 60 км» (Вернадский, IV, 1960, стр. 15). Для коры до глубины 16 км Вернадский увеличивал содержание воды до 12—15%.

Однако следует иметь в виду, что этими процентами В. И. Вернадский определял не химически чистую воду, а рассолы, которые, как он полагал, «достигают 36—40%, более глубинные содержат, должно быть, еще больше солевого остатка» (там же, стр. 160).

По поводу того, каким может быть количество воды в магме, Вернадский, ссылаясь на А. Дяя (1924 г.), указывал, что магма до перехода в массивную породу содержит в среднем 5—6% воды. Вместе с тем он замечал, что оценка количества воды в магме может быть только очень гадательной. Опубликованные позже оценки содержания воды в магме сильно между собой расходятся. В. Руби принимал, что во многих магмах содержание воды для базальтов составляет 4%, а для гранитов доходит до 8% (Rubeu, 1957). Согласно Н. Боуэну и О. Туттлу (1952), количество воды в магме может доходить до 12%. У А. Н. Заварицкого и В. С. Соболева по поводу воды в магме говорится: «Сейчас уже совершенно очевидно, что даже при давлениях 5 тыс. атм растворимость воды в силикатном расплаве лишь немногим превышает 10%, причем дальнейшее повышение давления все менее и менее повышает растворимость воды» (Заварицкий, Соболев, 1961, стр. 334).

А. Кадик и Е. Лебедев, исследуя в лабораторном эксперименте термодинамические условия у подошвы литосферы, пришли к заключению, что магма при температуре 1200° и давлении 9 кбар может содержать 18 вес. % воды (Кадик, Лебедев, 1968).

Что касается состояния воды в земной коре, то прежде всего следует указать на высокие давления и температуры, существующие на больших глубинах.

В среднем температура в недрах земной коры повышается на  $3^{\circ}\text{C}$  с углублением на каждые 100 м. Следовательно, можно предполагать, что на глубине 3 км температура будет близка к  $100^{\circ}$ , а на глубине 12 км — к  $360^{\circ}$ , т. е. почти достигнет критической температуры воды.

И. Д. Лукашевич приводил такие данные о температурах и давлениях на различных глубинах: 3 км — температура  $110^{\circ}$ , давление 780 атм; 7 км — соответственно 215 и 1820; 10 км — 298 и 2600; 15 км — 415 и 3900; 20 км — 543 и 5200; 25 км — 648 и 6000; 44 км — 1100 и 12 000; 69 км — 1500 и 18 000.

В. Ф. Дерпгольц указывает, что у основания литосферы средние температуры равны  $800^{\circ}\text{C}$ , а средние давления 10 000 атм, отмечая при этом, что данные различных авторов о температурах сильно между собой расходятся (Дерпгольц, 1971, стр. 128). Относительно давлений на различных глубинах наши сведения также остаются недостаточно достоверными. «Как происходит нарастание всестороннего сжатия на континентах с глубиной, мы, — говорит Г. Д. Афанасьев, — в точности не знаем. Можно предполагать, что в пределах твердой среды реальные напряжения на каждом уровне не будут тождественны давлению столба лежащих выше пород, как если бы они представляли тяжелую жидкость. Реальные напряжения будут меньше этой величины за счет упругих свойств горных пород и сил сцепления в кристаллических телах» (Афанасьев, 1963, стр. 26). Проявляется так называемый «арочный эффект», препятствующий передаче гравитационного давления по гидростатическому закону.

Французский гидрогеолог А. Делес (1861 г.), исходя из температурных условий, считал, что в жидком состоянии вода может находиться не глубже 3300 м, если не принимать во внимание давление, под которым она находится на такой глубине. С учетом же давления жидкая вода, по мнению Делеса, может находиться и на глубине 18 500 м при температуре  $600^{\circ}\text{C}$ .

По мнению американского геолога Ван-Хайса, высказанному в 1896 г., вода не может находиться глубже 6 миль (9,6 км), поскольку ниже этой границы породы переходят в пластическое водонепроницаемое состояние. Однако, по мнению многих исследователей, земная кора во всей своей толще имеет разрывы сплошности вещества в виде пор и трещин, т. е. вполне водопроницаема. Более того, как считает Ф. А. Макаренко, «одновременно с ростом давлений до определенных пределов, с глубиной увеличивается и проницаемость пород, так как при отсутствии свободного оттока воды мешают уплотнению пород и закрытию пор» (Макаренко, 1966, стр. 94). Н. И. Николаев, исследуя причины и механизмы проявления сейсмичной активности при заполнении водохранилищ и при закачках воды в скважины, указывает на то, что вода, проникающая в мельчайшие трещины, создает в местах их сужения расширяющееся давление в сотни и даже тысячи атмосфер, способствуя развитию микротрещин (Николаев, 1973). Он приводит случай, когда при закачке жидкости на глубину 3,7 км сейсмическая активность, вызванная увеличением порового давления, проявилась на глубине 6,5 км.

Однако А. А. Григорьев, например, указывает, что трещин и других пустот в литосфере много лишь до глубины 600 м (Григорьев, 1952); А. М. Овчинников также отмечает, что обычно пористость с глубиной уменьшается. Мы думаем, что такой взгляд ближе соответствует действительности, но, очевидно, вопрос подлежит дальнейшему изучению.

По И. Д. Лукашевичу, на глубине до 3 км от поверхности почвы вода находится в нагретом до  $110^{\circ}$  состоянии; на глубине 10 км она нагревается почти до  $300^{\circ}$ , кипит, но все еще остается в жидкой фазе, поскольку давление на этой глубине достигает 2600 атм; на большей глубине, где температура становится выше критической, вода переходит в фазу перегретого пара.

В работе «Пластовые воды биосферы и стратисферы» (1932 г.) В. И. Вернадский писал: «Для земной коры в целом жидкие фазы воды отходят на второй план. В планете царит газовая фаза воды» (Вернадский, IV, 2, 1960, стр. 613), в метаморфической оболочке доминируют лишенные кислорода «подземные водяные атмосферы». Он допускал, что капельно-жидкая вода может встречаться до глубины 10 км, может быть, 13,5 км, замечая при этом, что критическая температура природных водных растворов выше критической температуры химически чистой воды, но неизвестно — насколько. Приведя мнение норвежца И. Фохта (1858—1932 гг.), что критическая температура глубинных вод может повышаться до 425°, Вернадский считает, что «все эти выводы шатки и требуют экспериментальной проверки» (там же, стр. 296). Возражая Э. Принцу, соглашавшемуся с мнением А. Делеса о возможности существования жидкой воды на глубине 18,5 км, с температурой 600°, он писал, что основания этого мнения сомнительны, что «вода здесь, вероятно, должна находиться в пленчатно-волоосном состоянии» (там же, стр. 37), но не в капельно-жидком и что «капельно-жидкая вода коры выветривания не выходит далеко за пределы одного километра от уровня суши» (там же, стр. 36).

Однако многие авторы держатся мнения, что даже на больших глубинах, в очагах разгрузки магматических расплавов на границе литосферы и мантии вода находится в жидком состоянии, представляя собой рассол, степень концентрации которого определяется существующими в этой области термодинамическими условиями (Дерпгольц, 1962б).

Ф. М. Макаренко считает, что на больших глубинах «рост давлений непрерывно опережает возможности превращения воды в пар даже в условиях их исключительной перегретости, вплоть до критической температуры (374,15°). А так как критическая температура сильно минерализованной воды на глубинах повышается до 450—500° С и выше, т. е. почти до температуры плавления горных пород», то в условиях огромных давлений вода не превращается в пар даже в магматических расплавах. На больших глубинах ее молекулы так уплотняются, что она превращается как бы в «горячий лед», а ее диссоциация при этом крайне затрудняется (Макаренко, 1966, стр. 93). Существование воды в жидкой форме на всех глубинах земной коры, и не только как следствие повышения минерализации ее с глубиной, утверждается и другими исследователями. Доказательства неправильности мнения о невозможности жидкого состояния воды в надкритической области, т. е. отсутствия в этой области ассоциированных молекул воды, были приведены канадским ученым Ф. Г. Смитом (1954). В. С. Соболев указывает на то, что определение критической температуры как температуры, выше которой газ никаким давлением не может быть превращен в жидкость, является не совсем полным. С тем же правом, замечает он, можно говорить о критическом давлении как давлении, выше которого никаким нагреванием жидкость не может быть превращена в пар. «Существующая путаница в литературе, — пишет В. С. Соболев, — связана с тем, что по существу не имеется точного определения различий жидкого и газообразного состояний для однофазовой системы; хорошо отличать жидкость от газа мы можем только при их совместном существовании в системе из двух фаз» (Заварицкий, Соболев, 1961, стр. 324). Согласно РТ-диаграмме воды по Смигу, вода может считаться жидкой при температуре 900°, если давление превысит 1750 атм. Д. С. Коржинский, утверждая, что метаморфизм силикатных пород протекает только при наличии жидкого водного порового раствора, и отрицая в противовес В. И. Вернадскому существование пневматолитовых процессов, считает, что «существуют восходящие потоки водных трансмагматических растворов глубинного ювенильного происхождения» и что «магмы содержат ювенильную воду» (Коржинский, 1962). Однако в напечатанной вслед за цитируемой статьей Д. С. Коржин-

ского статье А. А. Штернберга указывается, что проведенное им исследование приводит к заключению, что «независимо от давления вода не может находиться в жидком состоянии при температурах выше  $600^{\circ}$ » (Штернберг, 1962). Допущение возможности существования жидкой воды на больших глубинах, очевидно, противоречит представлению В. И. Вернадского (как и других ученых, например И. Д. Лукашевича) о господстве газовой фазы воды в планете. В. И. Вернадский утверждал, что вода «в магмах и в магмосфере в жидком состоянии быть не может», что «в магме химически несвязанная вода находится всегда в газообразном состоянии» и что она непрерывно выделяется из магмы в виде водяного пара, свойства которого «при высокой температуре нам плохо известны» (Вернадский, IV, 2, 1960, стр. 175). Однако возможно, что это противоречие происходит только из-за указанной В. С. Соболевым неточности определений жидкого и газообразного состояний, при которой к жидкому состоянию относятся и нестойкие образования из двух молекул воды (димеры), а газы считаются состоящими только из мономерных молекул (Блох, 1969, стр. 51); но что касается газов, то, по мнению М. Н. Вукаловича, «ассоциация молекул газа присуща всем состояниям его и является основным всепроникающим молекулярным процессом» (Вукалович, 1958, стр. 27).

Отметим в связи с этим, что Ф. А. Макаренко и Т. П. Афанасьев проводят различие между двумя состояниями воды, когда утверждают, что только жидкие свободные воды, или воды, находящиеся в надкритическом состоянии (курсив наш.— *И. Ф.*), и частью конституционные воды минералов могут пронизывать всю земную кору и существовать ниже» (Макаренко, Афанасьев, 1967, стр. 279). Е. С. Гавриленко и В. Ф. Дерпгольд замечают, что «едва ли только тремя фазами ограничивается состояние воды» (Гавриленко, Дерпгольд, 1971, стр. 7). Крупный специалист по подземным водам А. М. Овчинников совсем недавно писал в полном согласии с В. И. Вернадским, что на континентах на глубине, где господствует критическая температура (около  $400^{\circ}\text{C}$ ), «скопления жидких вод невозможны» (Овчинников, 1970, стр. 36).

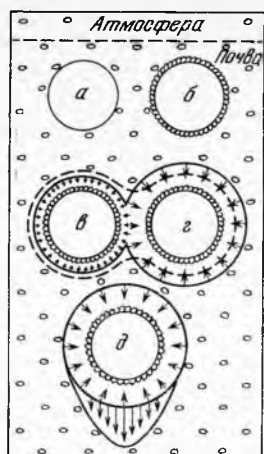
Из сказанного следует, что вопрос о фазовых состояниях воды в земной коре при различных термодинамических условиях нельзя считать достаточно выясненным, хотя в изучении его и имеются определенные успехи.

Но в каких связях с твердым веществом находится вода в породах литосферы? А. Ф. Лебедев (1882—1936 гг.), специально изучавший этот вопрос, установил следующие категории воды, в которых она встречается в горных породах (Лебедев, 1930, стр. 228).

1) Вода в форме пара, передвигающаяся из мест с большей упругостью пара в места с меньшей упругостью пара (рис. 24).

2) Гигроскопическая вода, представляющая собой воду, адсорбированную частицами породы (рис. 24, *а* и *б*). Когда вокруг частицы образуется сплошная пленка воды толщиной в одну молекулу, такое состояние влажности породы называется максимальной гигроскопичностью. Она может быть в породе, насыщенной водяным паром. Вода этой категории перемещается из одних слоев в другие, переходя в пар. В грубых песках гигроскопическая вода составляет лишь 0,5%, в тяжелых глинах она возрастает до 15%. Количество гигроскопической воды определяется путем высушивания образца породы при температуре  $105\text{--}110^{\circ}$  до постоянного веса.

3) Пленочная вода — это вода, облекающая тонким слоем частицы породы и прочно удерживаемая ими благодаря действию молекулярных сил. Пленочная вода не подчиняется силе тяжести и передвигается как жидкость от более толстых пленок к более тонким (рис. 24, *в* и *г*). Количество пленочной воды может быть определено путем смачивания породы при условии свободного стекания излишней воды.



Р и с. 24. Схематическое изображение различных состояний воды в породе, по А. Ф. Лебедеву

- 1 — частица породе;  
 2 — молекулы воды в виде пара:  
 а — неполная гигроскопичность;  
 б — полная гигроскопичность;  
 в и г — частицы породе с пленочной водой;  
 д — частица со свободной водой

Влажность породе, отвечающую максимальной толщине пленки, А. Ф. Лебедев назвал максимальной молекулярной влагоемкостью. В зависимости от породе она варьирует в широких пределах. Так, для крупного песка она равна 1,57%, для глины с диаметром частиц 0,005—44,85%.

4) Гравитационная вода — это вода, передвигающаяся под влиянием силы тяжести (рис. 24, д).

Кроме перечисленных категорий воды, которые А. Ф. Лебедев считал «в известной мере» изученными им, он называл еще следующие: 5) вода в твердом состоянии; 6) кристаллизационная вода; 7) химически связанная вода.

Исследованию связи воды с веществом земной коры много внимания уделил В. И. Вернадский. Он указывал на то, что в области нахождения вод на земном шаре температура имеет интервал от минус 93 до плюс 1200°, а давление изменяется от нескольких сотых атмосферы до 30 тыс. атм, что и обуславливает многообразие форм воды. При соприкосновении с частицами твердых тел вода может находиться в следующих формах:

1) в форме молекулярной пленчатой воды (гигроскопической, по А. Ф. Лебедеву); вода в этой форме, замечает Вернадский, свойства жидкого тела потеряла, но свойств твердого и газообразного не приобрела; возможно, она представляет собой особый «горячий лед»;

2) в форме волосной пленчатой воды (в своей массе — капельно-жидкой). Вода в этой форме не соприкасается непосредственно с твердым телом, она отделена от него молекулярной водной пленкой.

Воду в той и другой форме Вернадский называл также капиллярной и указывал, что из массивных пород ее может уходить при температуре выше 105—110° С 0,1—3,5% (до 8%, по Ван-Хайсу) и что для полного удаления пленочной воды иногда требуются сотни градусов.

В. И. Вернадский подчеркивал огромное значение волосной воды, считая вполне вероятным, что «все твердое вещество верхней части нашей планеты проникнуто насквозь волосной водой» (Вернадский, IV, 2, 1960, стр. 109) и что волосная вода стоит на втором месте после воды океанической. Понятие о пленочной воде, отмечает Вернадский, было введено в 30-х годах XIX в. Р. д'Андримоном; оно имело важное значение для решения вопросов, связанных с движением подземных вод.

Относительно химической связи воды с твердым веществом Вернадский писал, что она характеризуется водными растворами и гидратными соединениями — двумя формами равновесия, в которых вода находится в биосфере и стратисфере. В гидратных соединениях вода может быть в виде кристаллизационной и конституционной воды. Гидратация и дегид-

ратация происходят в огромном интервале температур. На земной поверхности эти процессы происходят при тех же термодинамических условиях, при которых идет растворение. Но молекулы воды входят и в такие прочные соединения (конституционная вода), из которых они могут быть удалены с разрушением самого соединения при температурах в сотни градусов, иногда выше 1000°.

Выше дается табл. 19, взятая из статьи Д. С. Белянкина «О воде в некоторых минералах», опубликованной в 1933 г. (Белянкин, 1933). В статье подчеркивается, что между всеми указанными в таблице водами «нельзя провести сколько-нибудь резкой границы». Даже между конституционной и гигроскопической водой нет «простоты и ясности» в их различии. Так, в опыте Э. Аллена и А. Дэя адсорбированная порошок чистого кварца вода не уходила из него и при температуре 500° С. В статье предложено следующее разделение указанных в таблице форм воды:

1. Вода связанная. При дегидратации минерала разрушается его кристаллическая решетка. К связанной воде относятся конституционная и кристаллизационная вода.
2. Вода свободная. При дегидратации остается нетронутой кристаллическая структура минерала. К свободной воде относятся цеолитовая (условно свободная) и гигроскопическая (безусловно свободная) вода.

По мере возрастания глубины происходит высвобождение из связи с минералами и породами сначала физически, а затем и химически связанных вод.

В. И. Вернадский делил все природные воды на три царства: поверхностных вод, подземных вод и глубинных вод. Царство подземных вод является промежуточным между водами биосферы и глубинными, которые до биосферы не доходят и находятся ниже границы существования воды в жидком виде. Подземные воды Вернадский разделил на пять царств (верхних земных покровов, пластовых вод, подземных водоемов, восходящих вод, волосных вод горных пород), причем в первых двух плеченные и капельно-жидкие воды приблизительно равноценны, во вторых двух капельно-жидкая вода преобладает над плеченной, а в последнем она отсутствует.

Следует сказать, что в приведенных в табл. 18 оценках подземной воды имеется в виду лишь жидкая вода. Остановимся коротко на различных подходах к определению подземных вод, т. е. на их классификации, но именно только вод, находящихся в земных недрах в жидком состоянии.

Первоначально, когда все горные породы назывались геологами грунтами, все подземные воды соответственно назывались грунтовыми водами. В России под влиянием гидрогеологических работ С. Н. Никитина этот термин стал употребляться в ограниченном смысле, т. е. стал относиться к верхним свободным горизонтам, тогда как за водами напорных горизонтов закрепилось название «артезианские». Тем не менее во многих крупных гидрогеологических работах все подземные воды продолжали называться грунтовыми, например в работах А. Ф. Лебедева «Передвижение воды в почвах и грунтах» (1919) и «Новая теория происхождения грунтовых вод» (1928). Термины «подземные» и «грунтовые» воды не имеют различия и в известном труде крупного немецкого гидрогеолога К. Кейльгака «Подземные воды и источники» (1914). Он дает следующее определение подземной воды: «Подземной или грунтовой водою, в противоположность наземной, мы называем всякую жидкую воду, находящуюся под земной поверхностью и проникающую туда естественным путем. Мы вовсе не проводим различия, как это делают некоторые авторы, между водою, циркулирующей в рыхлых водопроницаемых породах при отсутствии непроницаемого покровного слоя, и водою, находящейся под таким изо-

Таблица 19. Характеристика связи воды в минералах, по Д. С. Белякину

Название воды	Характеристика	Температура выделения	Пример минерала
Конституционная	Н и О находятся в молекуле данного соединения в столь тесной связи, что могут быть выделены из него лишь при полном разрушении молекулы, чаще всего при температуре выше 400°. Минералы с конституционной водой образуются лишь в условиях повышенного давления	450—500°	Диаспор $\text{AlO} \cdot \text{OH}$ Мусковит $(\text{K}, \text{H})_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
Кристаллизационная	Н и О входят в состав данного вещества в виде молекулы $\text{H}_2\text{O}$ . При дегидратации остается безводное соединение, полученное как бы простым вычитанием воды из первоначального гидрата. Количество молекул воды находится в постоянном и простом отношении к количеству молекул безводного соединения	Ниже 400°	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Сода $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Цеолитная (растворенная, по Болдыреву)	Подобна предыдущей, но отношение числа молекул $\text{H}_2\text{O}$ к числу молекул безводного вещества может меняться непрерывно и в широких пределах без нарушения физической однородности вещества	Начало 80—120°, конец — около 400°	Анальцим, $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot \text{H}_2\text{O}$ Опал $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Гигроскопическая	Механически примешана к данному веществу. Удаляется нацело при простом высушивании порошка минерала	$\leq 100^\circ$	



лирующим слоем или заполняющей трещины и пустоты горных пород» (Кейльгок, 1914, стр. 74).

В таком же смысле понимается термин «грунтовые воды» в работе шведского гидрогеолога И. Г. Рихерта. Грунтовыми называет все подземные воды и американский автор Ч. Сликхтер (Сликхтер, 1912, стр. 6). Немецкий гидрогеолог Э. Принц в своем труде «Handbuch der hydrologie» (1919) (русское издание — Гидрогеология, 1932) разделяет подземные воды на два вида — грунтовые воды и подземные водоотoki.

Американский гидрогеолог О. Мейнцер в работе, посвященной классификации подземных вод (Meinzer, 1916), артезианской водой считает такую грунтовую воду, которая находится под достаточным напором, чтобы подняться выше зоны насыщения.

В 1925 г. М. А. Великанов вместо термина «грунтовая вода» предложил термин «свободный водоносный слой», разумея под ним тот слой воды, в котором пьезометрический уровень не превышает высоты его верхней ограничивающей поверхности (Великанов, 1925). А. М. Жирмунский и А. А. Козырев, авторы статьи «О классификации подземных вод» (1928), предложили заменить термин «грунтовые воды» термином «свободные воды», понимая под ними воды, не имеющие водонепроницаемой кровли или с ней не соприкасающиеся. С гидростатической точки зрения, они подпадают под вышеуказанное условие М. А. Великанова, а с практической стороны являются обычно колодезными водами.

Французские гидрогеологи также называли эти воды свободными (*nappes libres*) или колодезными (*nappes phreatique*).

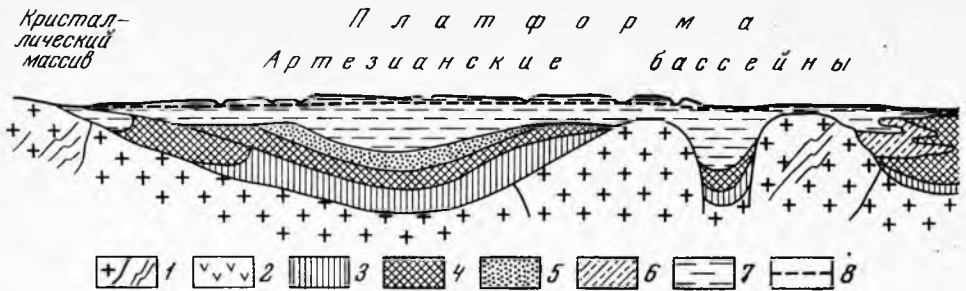
А. М. Жирмунский и А. А. Козырев предложили также подразделять воды на свободные верхние и свободные нижние. Воды, ограниченные снизу и сверху водонепроницаемыми слоями и находящиеся под гидростатическим давлением (пьезометрический уровень воды превышает верхнюю поверхность водоносного слоя), Жирмунский и Козырев предложили называть «напорными подземными водами». Этот распространенный термин, говорят они, выражает основное указанное свойство этих вод и безусловно заслуживает предпочтение по отношению ко всей этой группе вод по сравнению с термином «артезианские воды». Этот последний термин, замечают они, употребляется разными авторами, практиками и в законодательстве о воде в настолько разных смыслах, что многие высказывались за прекращение его употребления. Э. Эмбо, вынесший в 1927 г. вопрос о подземных водах на обсуждение секции научной гидрологии Международного исследовательского совета, водоносные горизонты (*nappes aquiferes*) подразделял на: 1) колодезные, со свободной водной поверхностью (*nappes phreatiques avec niveau libre*) и 2) замкнутые, с напорной водой (*nappes captives avec eau en pression*). Лишь колодцы, пользующиеся водой второй категории, Эмбо называл артезианскими.

Термин «артезианская вода» в Западной Европе и Америке одни авторы употребляют в первоначальном смысле этого слова по первой скважине с самоизливающейся водой, пробуренной в 1126 г. в Артуа во Франции, т. е. считают артезианскими из напорных вод лишь самоизливающиеся в данном районе; другие называют так все напорные подземные воды; третьи считают артезианскими все глубоко лежащие водоносные слои, независимо от того, напорные они или свободные.

Под артезианскими водами разумеются все воды, эксплуатируемые буровыми скважинами, на какой бы глубине и в каких бы условиях они ни находились.

Наконец, по вопросу об определении понятия «подземные воды» приведем еще мнение Ф. П. Саваренского (1881—1946 гг.).

Указав на то, что вода находится в земной коре кроме капельно-жидкого состояния также в виде пара или в химически и физически связанном состоянии и что некоторые авторы относят к подземным водам и запасы так или иначе связанной воды, он писал: «Мы считаем необходи-



Р и с. 25. Схема зональности подземных вод

1 — древний относительно водоупорный фундамент, с подземными водами в коре выветривания и в зонах разломов; 2 — молодые эффузивы; 3 — хлоридно-кальциево-натриевые рассолы зоны весьма замедленного водообмена; 4—6 — минеральные воды зоны замедленного водообмена: 4 — хлоридно-натриевые, 5 — сульфатно-кальциевые, 6 — гидрокарбонатно-натриевые и хлоридно-гидрокарбонатно-натриевые; 7 — пресные воды зоны интенсивности водообмена; 8 — уровень воды

мым расчленил эти понятия и под «подземными водами» в собственном смысле разумеет капельно-жидкую воду, заполняющую пустоты и поры в горных породах, способную к перемещению в них и вытеканию и извлечению из них» (Саваренский, 1935, стр. 12). Не имея возможности останавливаться на различных классификациях подземных вод, укажем, что основные из них рассмотрены, например, в книге А. М. Овчинникова «Общая гидрогеология» (1954), из которой взята нами помещенная здесь табл. 20 гидрогеодинамических зон подземных вод верхнего этажа части земной коры, сложенного осадочными толщами и заключающего в себе крупные бассейны подземных вод.

Т а б л и ц а 20. Зоны подземных вод

Зона	Геологические структуры	Генетический тип и химический состав воды	Общая характеристика воды и ее применение
Интенсивного водообмена	Выступающие массивы древних пород и поднятия. Раскрытые и сильно промытые структуры	Воды современные, атмосферного происхождения. Воды типа выщелачивания, по составу гидрокарбонатные, в засушливых областях — типа континентального засоления, повышенной минерализации	Воды преимущественно пресные, используемые для питьевого, хозяйственного и технического водоснабжения
Замедленного водообмена	Краевые части поднятий и более глубокие части полураскрытых структур	Воды древние, постепенно вытесняемые молодыми водами, разнообразного химического состава, часто с большим содержанием газа и редких элементов	Воды преимущественно минеральные, лечебного значения
Весьма замедленного водообмена (в масштабах геологического времени)	Глубокие части впадин. Закрытые, слабо промываемые структуры	Воды очень древние, погребенные, по составу хлоридно-кальциево-натриевые, местами околитурирующие нефтяные залежи	Воды преимущественно высокоминерализованные — рассолы промышленного значения, используемые для добычи солей, брома, йода и других элементов

Наиболее подробное обоснование выделения указанных трех зон дано Н. К. Игнатовичем в работах, опубликованных в 1944—1950 гг. Средняя глубина зеркала подземных вод зависит от широты местности и других условий. Например, в Московской области она колеблется от 6 до 25 м. Что касается нижней границы распространения капельно-жидких вод, то об этом достаточно сказано выше.



На рис. 25, заимствованном у А. М. Овчинникова, показывается распределение по глубине подземных вод различного химического состава в платформенных и горно-складчатых областях.

История вопроса об источниках подземных вод будет рассмотрена в гл. III. Здесь мы, в согласии с В. И. Вернадским и Б. Л. Личковым, лишь назовем их. Этих источников, писал Б. Л. Личков, «три: один поверхностный — атмосфера и два глубинных — магма и химические реакции метаморфического пояса» (Личков, 1928, стр. 27).

Остановимся теперь на некоторых определениях суммарных количеств воды в земной коре и в различных ее толщах, последовавших за теми попытками подсчетов, которые даны в табл. 18 в начале этого раздела.

И. Д. Лукашевич считал, что половина воды, выделившейся из глубоких недр, собралась в океанических впадинах, а другая половина содержится в литосфере, находясь в водных соединениях или пропитывая горные породы. Объем воды в океане Лукашевич принимал равным  $1417 \cdot 10^6 \text{ км}^3$ , следовательно, и объем воды в земной коре составляет, по Лукашевичу, примерно такую же величину (Лукашевич, III, 1911, стр. 572).

В. И. Вернадский массу воды в литосфере в виде паров и капиллярной (волосной, по Вернадскому, и гигроскопической) воды оценивал величиной того же порядка, как и масса воды в океане, имея при этом в виду не химически чистую воду, а природную воду, т. е. водно-солевой раствор. «Мы должны ожидать, — указывал Вернадский в работе «О капиллярной воде горных пород и минералов» (1929 г.), — что капиллярная вода, проникающая все минералы и горные породы, может быть пресной ( $3 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-1} \%$  по весу сторонних ей компонентов), соленой ( $1 \cdot 10^{-1} - 5,0 \%$ ) и рассолом (5—40% сторонних компонентов) (Вернадский, IV, 2, стр. 609). Здесь же он подчеркнул весьма ориентировочный характер оценки количества капиллярной воды. Он писал о капиллярной воде, что «количество химически чистой воды, ей отвечающей в земной коре до 16 км мощностью, должно исчисляться порядком  $n \cdot 10^{22} - n \cdot 10^{23} \text{ г}$ » ( $10n \cdot 10^{15} \text{ т} - 100n \cdot 10^{15} \text{ т}$ ). В «Очерках геохимии» (стр. 107—108) Вернадский, исходя из того, что количество водорода в земной коре приблизительно равно 1%, т. е. составляет для слоя в 16 км  $200 - 220 \cdot 10^{15} \text{ т}$ , и предполагая, что весь этот водород находится в земной коре только как компонент воды, определял количество воды в литосфере в  $1800 - 2000 \cdot 10^{15} \text{ т}$ . Вычитая отсюда количество воды в океане, он находил, что в верхней части земной коры (до 16 км глубины) помимо воды океана может быть около  $450 - 500 \cdot 10^{15} \text{ т}$  чистой воды (растворителя).

Но какие воды входят в это число? Из самой предпосылки, принятой при подсчете (1% водорода), следует, что в него входят все воды — свободные и связанные; однако соотношение их остается в подсчете В. И. Вернадского довольно неопределенным. Связанная вода, говорит Вернадский, имеет сейчас второстепенное значение в структуре верхней части планеты, количественно конституционная вода составляет лишь

Таблица 21. Осадочные толщи земной коры и массы заключенной в них воды, по А. Полдерварту

Область	Площадь, $1 \cdot 10^6 \text{ км}^2$	Средняя мощность осадков, км		Пористость, %	Объем осадков, $1 \cdot 10^6 \text{ км}^3$	Масса осадков, $1 \cdot 10^{15} \text{ т}$	Масса воды, $1 \cdot 10^{15} \text{ т}$	Соленость воды
		твердого вещества	с поровым пространством					
1. Глубинная океаническая	268	0,3	0,6	50	80,4	217 *	83,3	Соленая
2. Континентального щита	105	0,5	+2%	2	52,5	140	1	Пресная
3. Молодых складчатых поясов	42	5	5,5	9	126 **	340	21	»
4. Субокеаническая	93	4	5	20	372	1005	95,3	Соленая
	508 ***	—	—	—	630,9	1702	200,6	

\* Удельный вес для всех областей  $2,7 \text{ г/см}^3$ .

\*\* 60% от 5-километрового слоя, поскольку близ поверхности эта область содержит большое количество кристаллических пород.

\*\*\*  $2 \cdot 10^6 \text{ км}^2$  суши приходится на вулканические острова в областях 1 и 4.

миллионы тонн. Но в то же время, ссылаясь на Ф. Кларка и Г. Вашингтона, согласно которым в кристаллических породах содержится 1,15% химически связанной воды, что составляет массу  $200\text{—}220 \cdot 10^{15} \text{ т}$ , он пишет: «Приблизительно такое же количество воды должно содержаться в метаморфических породах (в виде конституционной воды)» (Вернадский, I, 1954, стр. 108). Противоречивость оценок Вернадским количества конституционной воды в земной коре очевидна.

Дж. Кальп подсчитал (Kulp, 1951), что в целом в земной коре содержится  $2240 \cdot 10^{15} \text{ т}$  воды, в том числе в осадочных породах  $90 \cdot 10^{15} \text{ т}$  и в кристаллических  $750 \cdot 10^{15} \text{ т}$  (остальное — в океане и атмосфере).

Подсчет А. Полдерварта дает количество воды во всей литосфере, включая воду океана, в пределах  $1800\text{—}2700 \cdot 10^{15} \text{ т}$  (Полдерварт, 1957), а подсчет А. П. Виноградова —  $1780 \cdot 10^{15} \text{ т}$  (Виноградов, 1959). Отдельно для осадочных пород эти авторы дают соответственно  $201 \cdot 10^{15}$  и  $100 \cdot 10^{15} \text{ т}$  воды, или 12 и 5% от веса слоя осадочных пород ( $1702 \cdot 10^{15} \text{ т}$  по А. Полдерварту и  $200 \cdot 10^{15} \text{ т}$  по А. П. Виноградову).

Намного большее количество воды в осадочной толще —  $401 \cdot 10^{15} \text{ т}$  — называлось В. Ф. Дерпгольцем (1962), но затем он изменил эту величину на  $190 \cdot 10^{15} \text{ т}$  (Дерпгольц, 1971).

Число А. П. Виноградова не расходится с оценкой В. И. Вернадского. В «Очерках геохимии» Вернадский писал, что «масса воды порядка приблизительно  $10^{17} \text{ т}$  проникает во все твердое вещество биосферы и стратисферы» (Вернадский, I, стр. 107).

В работе А. Полдерварта показана методика его вычислений. Он произвел свой расчет, пользуясь данными о площадях и мощностях осадочных пород, основанными на большом фактическом материале (эти данные отображены на рис. 23).

Его подсчеты сведены в табл. 21.

Новая, после А. Полдерварта, оценка химического состава земной коры была произведена А. Б. Роновым и А. А. Ярошевским (1967). Подсчитанная ими масса земной коры при средней ее мощности  $20,0 \text{ км}$  (минимальная средняя для древних океанических впадин  $5,6 \text{ км}$ , максимальная средняя для мезокайнозойских геосинклипалей  $45,6 \text{ км}$ ) равняется

Т а б л и ц а 22. Оценка количества воды в земной коре  $1 \cdot 10^{16}$  г

Слой	По В. И. Вернадскому, 1933	По Ф. А. Макаренку		По Ф. А. Макаренко и др., 1972	По Р. Линсли и др., 1949	По Дж. Кальпу, 1951	По А. П. Полдерварту, 1955	По А. П. Виноградову, 1959	По В. Ф. Дерпгольцу		По М. И. Львовичу, 1964	По Р. Нейсу, 1964	По А. Ронову и А. Ярошевскому, 1967	По данным симпозиума в Реддинге, 1970 г.
		1948	1966						1962	1971				
Земная кора в целом	1400 <sup>1</sup> (450–500 до глубины 16 км) <sup>2</sup>			861		840	400–1300	280	1072	1072			800	
Осадочные породы	100			355			201	100	401	190				
Кристаллические породы				506			200–1100	180	671	880				
5-километровая толща суши		84,4	84,4											
в том числе:														
гравитационные воды														
физически связанные воды														
химически связанные воды														
Жидкие гравитационные воды осадочной толщи суши				42,5	15		22				60	8		7,5

<sup>1</sup> Солевой раствор (без вод океана, включаемого Вернадским в понятие земной коры).

<sup>2</sup> Чистая вода, растворитель.

28 560 · 10<sup>15</sup> т (по Полдерварту 23 666 · 10<sup>15</sup> т). На основании анализов пород различных оболочек земной коры они считают, что связанная вода («H<sub>2</sub>O<sup>+</sup>») составляет 1,33% массы земной коры. Из этих данных следует, что масса воды, связанной в породах земной коры, равна 380 · 10<sup>15</sup> т. Отмечая перешенность вопроса о количестве воды, «заклученной в земной коре и гидросфере в целом», они считают, что вместе с гигроскопической (H<sub>2</sub>O), поровой и пластовой водой, «массы которых определить с достаточной точностью сейчас невозможно», общее количество воды в земной коре должно составлять по крайней мере около 800 · 10<sup>15</sup> т. Величина, близкая к этой (861 · 10<sup>15</sup> т), содержится в статье Ф. А. Макаренко и др. (1972).

Семью годами раньше работы А. Полдерварта была опубликована столь же обстоятельная работа советского гидрогеолога Ф. А. Макаренко, в которой имеется подсчет подземных вод в 5-километровой толще земной коры в пределах суши (Макаренко, 1948). По этому подсчету жидкие воды (свободные и физически связанные) и воды, находящиеся в химических соединениях, составляют во всей 5-километровой толще 84,4 · 10<sup>6</sup> км<sup>3</sup>, а гравитационные (свободные) воды 13,7 · 10<sup>6</sup> км<sup>3</sup> — 1,9% к объему блока. У Полдерварта нет деления вод по видам их состояния в земной коре, речь у него идет о гравитационной воде (хотя бы судя по тому, что для пород континентального щита содержание воды в них он принимает в 2%). Следовательно, сопоставимые данные Полдерварта (22 · 10<sup>15</sup> т воды в осадочной толще областей континентального щита и молодых складчатых областей) и Макаренко (8 · 10<sup>15</sup> т, в известняках, песчаниках и глинистых породах или 13,7 · 10<sup>15</sup> т с учетом гравитационных вод изверженных пород) серьезно различаются. Но надо заметить, что среднюю мощность осадочной оболочки Ф. А. Макаренко принимает равной 0,8 км, т. е. значительно (раза в 3) меньшей, чем у А. Полдерварта. Жидкие свободные и физически связанные воды во всей 5-километровой толще по подсчетам Ф. А. Макаренко составляют 49,7 · 10<sup>6</sup> км<sup>3</sup>, а химически связанные 34,9 · 10<sup>6</sup> км<sup>3</sup>. Позже Ф. А. Макаренко внес в свои подсчеты дополнение, указав на то, что до глубины 2000 м под влиянием температуры почти все физически связанные и на 30% химически связанные воды переходят в жидкие гравитационные воды, так что в 5-километровой толще суши должно находиться 60 · 10<sup>6</sup> км<sup>3</sup> свободной воды (Макаренко, 1966, стр. 91). В другой работе Ф. А. Макаренко, совместной с Т. П. Афанасьевым, только для осадочной толщи континентов объем жидких гравитационных вод определяется цифрой 42,5 · 10<sup>6</sup> км<sup>3</sup> (Макаренко, Афанасьев, 1967, стр. 282).

М. И. Львович объем подземных вод суши определяет в 60 · 10<sup>6</sup> км<sup>3</sup>, «не считая воды, входящей в состав горных пород», и 75 тыс. км<sup>3</sup> почвенной влаги (Львович, 1964, стр. 492). Но американские гидрологи (Линслей и др., 1962, стр. 412) пишут: «В нашем распоряжении имеются многочисленные данные о запасах подземных вод. На основании этих данных можно сделать вывод, что общее количество подземных вод на всей поверхности земли эквивалентно слою не менее чем 29—30 м». При этом они ссылаются на подсчет Фуллера (1906 г.). По подсчету американского гидролога Н. Нейса, на площади суши около 130 млн. км<sup>2</sup> почвенная влага составляет приблизительно 65 тыс. км<sup>3</sup>, а подземные жидкие воды примерно 8 · 10<sup>6</sup> км<sup>3</sup>, в том числе в слое до глубины 0,8 км (0,5 мили) 4 · 10<sup>6</sup> км<sup>3</sup>. При обсуждении проблем мирового водного баланса на симпозиуме в Рединге (Англия) летом 1970 г. по поводу объема одного из резервуаров пресных вод — грунтовых вод — говорилось, что, возможно, их слой на всю поверхность Земли близок к 45 м, «но на симпозиуме не вызвала возражений величина 15 м или около того» (Пенмэн, 1972, стр. 65), что дает 7,5 · 10<sup>6</sup> км<sup>3</sup>. Сопоставимые в известной мере результаты определений количества подземных вод, опубликованные за последние 40 лет, сведены в табл. 22. Из данных таблицы видно, что

количества подземной воды, определенные различными исследователями, касаются ли они земной коры в целом или относятся к определенным толщам, сильно различаются. Кроме явно неопределенной оценки общей массы подземной воды А. Полдерварта, значительно превышает цифры других авторов объем, называемый В. И. Вернадским. Но не следует забывать, что он имеет в виду не чистую воду, а раствор, содержащий на большой глубине более 40% солевого остатка. С учетом этого можно говорить о сходном результате подсчетов. Но, очевидно, этого нельзя сказать о цифрах, характеризующих массу жидкой воды в осадочной толще суши, где сосредоточены пресные воды.

Остановимся коротко на вопросе о количестве пресных подземных вод. Но сначала скажем несколько слов о химизме подземных вод. Степень минерализации подземных вод, как это было отмечено В. И. Вернадским, повышается по мере увеличения глубины их нахождения. Обычно пресные, преимущественно гидрокарбонатного кальциевого и кальциево-магниевого состава, воды верхних горизонтов с глубиной постепенно сменяются сульфатными кальциевыми, затем сульфатно-хлоридными натриевыми, глубже уступающими место хлоридным натриевым и натриево-кальциевым рассолам. Отклонения от этой схемы изменения состава и минерализации подземных вод В. И. Вернадский объяснял климатическими условиями, литологическим составом пород, геологическим строением, географической широтой местности и другими факторами. Увеличение минерализации с глубиной и изменение химических типов вод в том же направлении В. И. Вернадский объяснял процессами подземного испарения, составляющего основу явлений, связанных с круговоротом воды в стратиффере, хотя и количественно весьма незначительного — от 3 до 40 мм<sup>3</sup> из 1 м<sup>3</sup> воды в год (Альтовский, 1964, стр. 179). Другое объяснение вертикальной химической зональности подземных вод усматривается в возрастных с глубиной отрицательной гидратации ряда анионов, распространенных в природных водах (Копелиович, 1964). История изучения проблемы зональности подземных вод (географической широтной и вертикальной — гидрохимической и гидродинамической) на территории СССР и отчасти на континенте Евразия в целом получила освещение в статье Б. Д. Русанова (1967). Д. И. Гордеевым указаны те основные вопросы зональности подземных вод, которые требовали своего изучения (История геологии, 1973, стр. 325).

А. Полдерварт относит к пресным все жидкие воды, содержащиеся в осадочной толще суши, где они, как указано, составляют  $22 \cdot 10^6$  км<sup>3</sup>. В журнале «Курьер ЮНЕСКО» за июль-август 1964 г., посвященном проблеме «Вода и жизнь», французский ученый М. Баттис высказывает мнение, что «пресной воды гораздо больше под землей, чем на ее поверхности». Там же Л. Леопольд, крупный американский специалист по подземным водам, приведя данные Р. Нейса о количестве воды, содержащейся в 800-метровом слое земной коры, пишет: «Гораздо больше годной к использованию, но пока еще не используемой воды содержится в глубоких недрах Земли. По сравнению с этими запасами масса воды, которая может быть накоплена с помощью плотин на реках, ничтожно мала». В одной из заметок, помещенных в журнале, указывается, что объем жидких пресных вод на земном шаре составляет около одной трети всего их количества, а более двух третей сквано во льдах. Словом, по мнению ряда исследователей, количество подземных пресных вод составляет несколько (до десятка) миллионов кубических километров. Однако ввиду отсутствия убедительных обоснований таких больших объемов существуют и более скромные оценки ресурсов подземных пресных вод. Так, например, французский ученый Р. Фюрон считает слишком завышенной цифру 500 тыс. км<sup>3</sup>, которой определяется объем пресной воды в реках, озерах и водоносных толщах «по самым оптимистическим подсчетам» (Фюрон, 1966, стр. 244).

Значительно различающиеся оценки количества подземных вод свидетельствуют, очевидно, о том, что пока еще накоплено недостаточно надежных материалов, которыми будут сближены эти оценки. Бывявление действительных запасов подземных вод, особенно пресных, по-прежнему является задачей, на решение которой должны быть направлены планомерные коллективные усилия.

## ПОНЯТИЕ ГИДРОСФЕРЫ.

### ОБЩЕЕ КОЛИЧЕСТВО ВОДЫ НА ЗЕМНОМ ШАРЕ

Понятие гидросферы было введено в научную литературу в 1875 г. Э. Зюссом (1831—1914 гг.), развившим до научного обобщения окончательно установленный к концу XVIII в. кругосветными плаваниями факт существования единой водной оболочки, названной в 1798 г. французским гидрографом К. Кларе де Флерье (1738—1810 гг.) «Всемирным океаном».

К концу XIX в. понятие гидросферы вошло в употребление и в русской научной литературе. Так, термин «гидросфера» как синоним океана употребляется Ф. Ю. Левинсон-Лессингом (1861—1939 гг.) в его актовой речи на тему «О вековых перемещениях суши и моря», произнесенной в декабре 1892 г. в Юрьевском университете (Левинсон-Лессинг, 1893).

В более широком объеме понятие гидросферы вводится в 1910 г. Дж. Мерреем, выделившим тогда в своем труде «Океаны» следующие «концентрические сферы», названные им геосферами: атмосферу, гидросферу, биосферу, литосферу, тектосферу и центросферу (Меррей, 1923, стр. 135). Гидросфера, по Меррею, «в большей части состоит из вод океана, и в нее входят также озера и реки. Часть этой воды может быть в твердом и газообразном состоянии, в виде льда, снега, града и водяных паров атмосферы. Вода также глубоко проникает в каменистую кору Земли, где она производит гидратацию минералов, а также составляет значительную часть биосферы». Но тогда же И. Д. Лукашевич гидросферу понимал как Мировой океан.

Вопросу о сферах Земли много внимания уделял В. И. Вернадский. Гидросферой он также называл Всемирный океан. Однако он неоднократно подчеркивал неотделимость гидросферы от других сфер и, исходя из факта единства всех вод планеты, кроме понятия гидросферы в смысле Мирового океана развивал также понятие единой водной оболочки планеты, состоящей из пяти водных оболочек: жидкой, газообразной, твердой, волосной и ионной. Нижнюю границу жидкой водной оболочки Вернадский проводил на глубине 10 км в океане и 6—8 км (возможно, 13,5) на суше, а верхнюю — на высоте 15, максимально 20 км. О водяных парах Вернадский говорил, что они «единственная форма проявления воды, которая характерна для всей земной коры» (Вернадский, IV, 2, 1960, стр. 38). Нижним пределом существования водяных паров он считал границу земной коры, 60 км, где «вода, как и другие вещества, находится в состоянии, не подходящем к понятиям жидких, твердых и газообразных тел» (там же, стр. 40). Менее определенно называлась Вернадским верхняя граница распространения водяных паров. Он допускал возможность проникновения их в разреженную атмосферу, а из нее — в космическое пространство (как и из него).

Вернадский писал: «Вода почти несомненно находится за пределами тропосферы — в стратосфере и, очень возможно, идет и дальше вверх — в область ионосферы. Так называемые серебристые облака, на высотах более 80 км, являются, возможно, водными скоплениями, может быть, даже с жидкой водой.

Реально известны лишь воды тропосферы» (Вернадский, 1960, IV, 2, стр. 314).



Но в другом месте читаем: «Пары воды в стратосфере, по-видимому, отсутствуют» (Вернадский, 1965, стр. 126). Вопрос о том, далеко ли в стратосферу проникают водяные пары, остается спорным. Многие исследователи считают стратосферу выше 15 км «сухой». Так, Д. Бейтс, приводя данные английской метеорологической службы, согласно которым количество водяного пара в единице объема на высоте 14 км составляет всего несколько миллионных долей, пишет, что «тропопауза подобна ловушке для водяного пара, а область выше нее напоминает пустыню на подветренной стороне цепи высоких гор» (Бейтс, 1961, стр. 120). Ф. Н. Мильков считает, что «в стратосфере отсутствует или почти отсутствует водяной пар» (Мильков, 1970, стр. 13). Однако ракетными экспериментами последних лет в стратосфере обнаружены комплексы  $(\text{H}_2\text{O})_n$  и  $(\text{H}_2\text{O})\text{H}^+$  (последние также и в мезосфере), и Г. М. Мартынкевич пишет: «Сравнение результатов ракетных исследований с данными зондовых, самолетных и аэростатных измерений влажности позволяет привести серьезные возражения против представлений о «сухой» верхней стратосфере» (Мартынкевич, 1969).

Хотя вопрос о высоте распространения водяных паров требует дальнейшего выяснения, мы все же считаем обоснованным верхнюю границу гидросферы определять приблизительно высотой тропопаузы (8—17 км), имея при этом также в виду, что, как утверждает Г. Юри, «в настоящее время вода ниже тропопаузы фотохимически не разлагается» (Юри, 1959, стр. 22).

В целом о водной оболочке Земли Вернадский писал, что «вся вода планеты, в каком бы состоянии она ни была, жидкая, твердая (и пленчатая) или газообразная, включая и весь Всемирный океан, представляет единое неразрывное целое, проникнутое газами и как губка охватывающее всю сушу, гидросферу и тропосферу, составляя единую водную оболочку планеты» (Вернадский, 1965, стр. 223). А. А. Григорьев (1937 г.) в числе геосфер выделял «жидкую гидросферу». Он отмечал прерывистый характер ее в области суши, указывая вместе с тем на ее сплошность в почвах и горных породах (Григорьев, 1970, стр. 24). Приведем некоторые другие определения гидросферы. Обратимся сначала к справочным изданиям. В первом издании «Большой советской энциклопедии» гидросфера определяется как «водная оболочка земного шара» (т. 16), без конкретизации. Согласно второму изданию, гидросфера — это «прерывистая водная оболочка Земли, располагающаяся между атмосферой и твердой земной корой и представляющая совокупность океанов, морей и континентальных водных бассейнов» (т. 11, 1952). В гидросферу включены также материковые льды и воды рек, болот и озер, но оставлены вне ее подземные воды и водяные пары атмосферы. В третьем издании БСЭ А. А. Соколов определяет гидросферу в несколько более узком смысле, не включая в нее кроме подземных вод и водяных паров также и ледники (т. 6, 1972). Согласно «Британской энциклопедии» (т. 11, 1965), гидросфера — это «масса океанических вод, заполняющих большие углубления в земной коре и покрывающих около 72% ее поверхности». При этом отмечается, что это название употребляется в отличие от атмосферы, литосферы и центросферы и массы воды внутри земной коры.

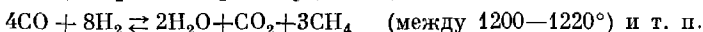
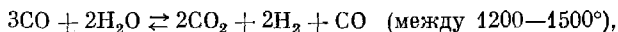
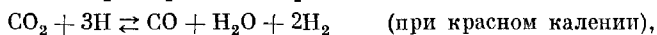
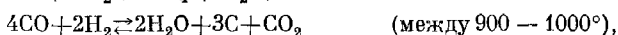
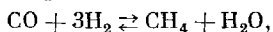
Остановимся еще на нескольких определениях гидросферы, принадлежащих отдельным ученым. Ф. П. Саваренский предложил в 1946 г. делить гидросферу на поверхностную и подземную, т. е. в понятие гидросферы наряду с поверхностными он включал также подземные воды, определяемые им, как указано выше, на стр. 101. С таким пониманием гидросферы совпадает определение, даваемое А. М. Овчинниковым. «Гидросфера, — пишет он, — это водная оболочка Земли, сложно входящая в другие оболочки. В эту оболочку входят все скопления воды: океаны и моря, озера и болота, реки и ручьи, почвенные и подземные воды, а также воды, находящиеся в минералах и горных породах. Верхняя граница хорошо на-

мечается по поверхности океанов и морей, озер, а на суше по зеркалу грунтовых вод. Она примерно отражает поверхность геоида. Нижняя граница выражена нерезко. Условно ее можно провести на глубине 12—16 км, местами глубже, т. е., иначе говоря, она примерно располагается на глубине самых крупных океанических впадин, а на континентах на той глубине, где уже господствует критическая температура воды (около 400° С) и скопления жидких вод невозможны» (Овчинников, 1970, стр. 35). Как видим, в состав гидросферы в приведенном определении почему-то не включены ледники и атмосферная влага — наиболее подвижная и активная часть водной стихии. Существенно также отметить, что хотя в определении называются также воды, находящиеся в минералах и горных породах, но имеются в виду лишь жидкие воды, не входящие в состав молекул твердых веществ. Согласно С. В. Калеснику, «под гидросферой понимают все химически не связанные воды на земной поверхности в жидком и твердом агрегатном состоянии» (Калесник, 1970, стр. 31). В этом определении в понятие гидросферы не включаются подземные воды (масса воды в гидросфере принимается С. В. Калесником равной  $1,4 \cdot 10^{18}$  т и отдельно масса воды в земной коре — равной  $4 \cdot 10^{17}$  т).

В «Гидрологическом словаре» А. И. Чеботарева гидросферой называется «прерывистая водная оболочка земного шара, расположенная на поверхности и в толще земной коры и представляющая совокупность океанов, морей и водных объектов суши (рек, озер, подземных вод), включая скопления воды в твердой фазе (снежный покров, ледники)» (Чеботарев, 1964). Здесь тоже, как и у А. М. Овчинникова и С. В. Калесника, не называется влага атмосферы, но в гидросферу включаются ледники и подземные воды, хотя и не оговорено, какие именно — только ли свободные или и связанные; очевидно, только первые.

М. И. Львович и Г. П. Калинин считают гидросферу состоящей из следующих частей: Мировой океан, подземные воды, ледники, озера, почвенная влага, русловые воды, влага атмосферы. Они ограничивают подземные воды при оценке их объема лишь свободными гравитационными водами, не связанными химически и физически с минералами (до глубины 5 км) (Львович, 1964; Калинин, 1968), т. е. подземные воды принимаются в понимании, предложенном Ф. П. Саваренским.

Е. С. Гавриленко и В. Ф. Дерпгольц, авторы книги «Глубинная гидросфера Земли» (1971), пишут: «На вопрос о границах гидросферы Земли приходится ответить отрицательно: ни верхней, ни нижней сколько-нибудь четких границ установить не удастся» (стр. 5); но на следующей странице нижней границей гидросферы они гипотетически считают верхнюю мантию. В более ранней работе В. Ф. Дерпгольц определял гидросферу как «сплошной пояс, окружающий нашу планету, нижняя граница которого близка зоне, где проходит слой Мохо (Мохоровичича), а верхняя постепенно исчезает в верхней атмосфере» (Дерпгольц, 1963). А. М. Алпатъев замечает, что «к этому определению границ гидросферы трудно добавить что-либо менее спорное» (Алпатъев, 1969, стр. 15). Мы также считаем такое определение границ гидросферы, совпадающих, очевидно, с границами водной оболочки, понятие о которой было развито В. И. Вернадским, единственно научно правильным. Как указывал В. И. Вернадский, в глубоких частях земной коры, именно в области нижней границы широко понимаемой гидросферы, должен идти синтез, как и разрушение молекул воды, в реакциях типа:



Таким образом, в свете сказанного выше под гидросферой в широком смысле слова следует понимать сплошную оболочку земного шара, простирающуюся вниз до верхней мантии, где в условиях высоких температур и давления наряду с разложением молекул воды непрерывно происходит их синтез, а вверх — примерно до высоты тропопаузы, выше которой молекулы воды подвергаются фотодиссоциации. Но мы считаем также правомерным и целесообразным употребление термина «гидросфера» в более узком смысле, а именно в том, в каком он употребляется названными выше гидрологами Г. П. Калининым, М. И. Львовичем, А. И. Чеботаревым, включающими в гидросферу лишь подземные воды верхнего этажа земной коры, т. е. капельно-жидкую воду, «способную к перемещению» в горных породах и «вытеканию и извлечению из них», по определению Ф. П. Саваренского. Сведение понятия гидросферы к понятию Мирового океана, очевидно, следует считать неправильным.

В заключение освещения истории вопроса о понятии гидросферы укажем на разработку главным образом в советской гидрогеологической литературе в последние десятилетия проблемы вертикальной зональности природных вод планеты.

В качестве определенного итога исследования проблемы приведем здесь представление о гидрофизических зонах подземной гидросферы, данное в статье Ф. А. Макаренко, В. А. Ильина, В. И. Кононова и Б. Г. Поляка «Физическая модель подземной гидросферы» (1972). «Синтез накопленных знаний о строении земной коры и мантии Земли в сопоставлении с данными экспериментального изучения структуры, состояний и свойств воды в различных термодинамических условиях (Самойлов, 1957; Смит, 1968) позволил, — пишут они, — разработать общую схему фазово-агрегатного расслоения всей подземной гидросферы». И далее дается описание пяти выделенных ими гидрофизических зон, приводимое здесь с сокращениями.

Первая гидрофизическая зона — зона твердой воды — ограничивается геоизотермой фазового перехода «вода—лед». Существование этой зоны вод обусловлено главным образом величиной инсоляции и геологической историей данных областей, в зависимости от чего она ограничена по широте, а ее мощность меняется от 0 до 1 км или несколько больше.

Вторая гидрофизическая зона — зона жидких «структурированных» вод — ограничена геоизотермами фазовых переходов «вода — лед» и «вода — пар» для природных растворов. Температуры в зоне увеличиваются с глубиной от точки замерзания до критической, а давления — от  $10^{-3}$  до 25 кбар.

Эта зона охватывает до 80% земной коры. Под областями докембрийской складчатости мощность ее достигает 80 км, а в областях палеозойской и мезозойской складчатости, под океаническими впадинами (плитами), в кайнозойских краевых прогибах и внутренних впадинах уменьшается до 25 км; в эвгеосинклинальных и миогеосинклинальных зонах кайнозойской тектонической активности мощность зоны снижается до 10 и 15 км соответственно, а в районах островных дуг — до 8 км. В районах активного вулканизма реализуются условия перехода жидких вод в газообразное состояние и на меньших глубинах.

Свойства воды второй гидрофизической зоны таковы, что диэлектрическая проницаемость и высокая плотность определяют эти воды как хороший полярный растворитель. Степень ионизации их в зоне вполне обеспечивает гидролиз, а величины вязкости свидетельствуют о высокой миграционной способности.

Третья гидрофизическая зона — зона уплотненного флюида — ограничена геоизотермами 450 и 700°C и характеризуется давлениями от 3 до 50 кбар. В ней водородные связи разорваны и молекулы воды становятся свободными. Но так как при высоких давлениях плот-

ность флюида увеличивается, то усиливается и взаимодействие между отдельными молекулами даже и в надкритических условиях. Здесь, по-видимому, возникают нестойкие, в основном димерные ассоциаты молекул воды. Надкритический флюид зоны имеет, таким образом, «сиботаксическую», т. е. разупорядоченную рыхлую, структуру с островками кристаллоподобных ассоциатов, обладающих аномальными свойствами. Существующая в условиях третьей зоны диэлектрическая проницаемость свидетельствует о возможности гидролиза. В то же время происходит распад мономерных молекул воды на  $H^+$  и  $OH^-$ . Флюид имеет меньшую вязкость и большую миграционную способность, чем жидкая «структурированная» вода.

Мощность третьей зоны колеблется от 3 до 80 км. Согласно расчетам, максимальная глубина ее нижней границы достигает 160 км (под областями докембрийской складчатости), а минимальная (под островными дугами) составляет 11 км.

Четвертая гидрофизическая зона — зона мономерных молекул воды — существует при температурах 700—1100°С и давлениях 50—100 кбар.

Под островными дугами ее нижняя граница приподнята и лежит на глубине 30 км, но под областями докембрийской складчатости она опускается до 270 км. Максимальная мощность 110 км. В четвертой зоне вода не имеет водородных связей. Величина энтропии ( $S = 22,8—21,0$ ) показывает значительную разупорядоченность структуры воды, что свидетельствует о близгазообразном ее состоянии. Мономерные молекулы воды группируются вокруг отдельных ионов, придавая им значительную летучесть.

Пятая гидрофизическая зона — зона диссоциированной воды — ограничивается изотермами 1100—3700°С. Давления колеблются от 100 до 1200 кбар. Ее можно условно разделить на две подзоны по изотерме 1500°С, так как при более высоких температурах, по-видимому, происходит диссоциация гидроксила. Расчеты показывают, что примерно на границе ядра при температуре 3700°С и давлении 1200 кбар вода должна быть диссоциирована полностью.

«Таким образом, — заключают авторы, — современная подземная гидросфера пронизывает всю земную кору и мантию Земли. Движение свободных вод в верхней части литосферы управляется преимущественно артезианским напором (гидродинамические зоны активного, замедленного и «векового» водообмена, отвечающие второй гидрофизической зоне). Глубже движение вод носит преимущественно диффузионный восходящий характер. Рассмотренная гидрофизическая зональность относится к свободным водам. Формы существования физически и химически связанных вод также определяются реальными термодинамическими условиями. Но с глубиной их ассортимент беднеет, и при температурах выше 450° (нижняя граница второй зоны) они почти полностью переходят в свободное состояние за исключением некоторой части кристаллизационных вод и вод конституционных, удерживающихся до температуры порядка 1000°С (третья зона)».

В рассмотренной работе нижняя граница гидросферы, водной оболочки, проходящая, по Вернадскому, между корой и мантией, снижается до самого ядра планеты. В гидросферу, которую принято понимать как сферу, содержащую воду в трех агрегатных состояниях, авторы включают и те глубинные слои земного шара, в которых вода как таковая уже не существует. Нам такое расширение понятия гидросферы, по существу до безграничности, представляется неправильным.

Перейдем теперь к вопросу об определении количеств воды в частях гидросферы и общего ее количества на земном шаре.

Выше мы достаточно подробно остановились на истории вопроса о массах воды в главных частях гидросферы. Рассмотрим теперь основные данные, характеризующие развитие знаний о величинах объемов воды,

находящейся в других вместилищах в гидросфере — в реках и озерах, в криосфере и атмосфере, растительных и животных организмах.

Определение объема воды, одновременно содержащейся в руслах рек, в озерах и болотах, — задача, несомненно, более трудная, чем определение объема океанических вод.

Немецкий гидролог В. Гальбфас (*Internationale Revue*, 1913/14, стр. 553) считал объем воды в реках равным 100 тыс. км<sup>3</sup>, в озерах 250 тыс. км<sup>3</sup> и в болотах 6 тыс. км<sup>3</sup>. Принимая величину объема воды в реках по Гальбфасу за достоверную, В. И. Вернадский тут же замечал (Вернадский, IV, 2, стр. 326), что масса пресной речной воды втрое больше массы озерной (пресной) воды. Неизвестно, как подсчитывался объем воды в речных руслах, но очевидно, что при этом подсчете следовало иметь в виду определенную в 1909 г. В. Мейнардузом (см. стр. 173) продолжительность и повторяемость влагооборота на земном шаре. Если, согласно В. Мейнардузу, водяной пар совершает 38 круговоротов в течение года, то и повторяемость речного стока, объем которого в то время был уже достаточно известен (см. стр. 168), должна быть близкой к этой величине (но меньшей ее). Э. Коссина оценивал общий объем речной и озерной пресной воды в 130 тыс. км<sup>3</sup> (Kossinna, 1933, стр. 886).

В работе М. И. Львовича «Элементы водного режима рек земного шара» (1945) впервые дается величина единовременного объема воды в реках мира — 1,2 тыс. км<sup>3</sup>. Такую же величину принимает в своих подсчетах запасов воды на земном шаре американский гидролог Р. Нейс (Nase, 1964). В докладе на симпозиуме в Реддинге, о котором выше упоминалось, Нейс, подчеркивая важность определения количества воды в реках, замечает, что этот вопрос «не привлекает достаточно внимания исследователей» (Нейс, 1972, стр. 15).

Г. П. Калинин указанный объем — 1,2 тыс. км<sup>3</sup> — считает заниженным. Он приводит приближенный расчет единовременного количества воды в руслах рек, основанный на определении среднего времени добегания воды от истока до устья для ряда крупных рек. Среднее значение периода оборачиваемости воды в руслах рек оказалось равным 20 суткам, откуда следует, что при стоке около 36 тыс. км<sup>3</sup> в год единовременное содержание воды в реках равняется 2 тыс. км<sup>3</sup> (Калинин, 1968, стр. 15).

Выяснилось, таким образом, что количество речной воды не только не преобладает над количеством пресной воды в озерах, как полагал В. И. Вернадский, но составляет лишь незначительную часть ее.

Что касается объема воды в озерах, то, как уже сказано, Гальбфас считал, что он равен примерно 250 тыс. км<sup>3</sup>. Это же число он называет и в своей статье, опубликованной в 1934 г. (Halbfass, 1934), причем в ней он замечает, что в 250 тыс. км<sup>3</sup> входит и объем Каспийского моря, равный, по его подсчету, 88 тыс. км<sup>3</sup>. Отметим, что этот подсчет не сильно расходится с результатом определения водного объема Каспия экспедицией Н. М. Книповича 1914—1915 гг., равным 79 319 км<sup>3</sup>. Таким образом, по Гальбфасу, объем всех озер земного шара, пресных и соленых, составляет 250 тыс. км<sup>3</sup>. Не понятно, почему В. И. Вернадский, ссылаясь именно на В. Гальбфаса, писал в своих «Очерках геохимии», что «объем воды озер, болот, рек и надземных вод  $7,5 \cdot 10^5$  км<sup>3</sup> максимум» (Вернадский, I, стр. 51). Эта величина количества воды в озерах — 750 тыс. км<sup>3</sup> — обычно и приводилась в литературе. Но в 1955 г. А. Полдерварт объем воды в озерах (и реках) определил в 500 тыс. км<sup>3</sup>. Р. Нейс в 1964 г. еще более снизил эту величину. По его подсчету, в пресноводных озерах заключено около 125 тыс. км<sup>3</sup>, а в соленых озерах и внутренних морях приблизительно 105 тыс. км<sup>3</sup> воды; всего, следовательно, около 230 тыс. км<sup>3</sup> (Nase, 1964). Величины, даваемые Нейсом, по-видимому, несколько преуменьшены. Площадь пресноводных озер он принимает равной 850 тыс. км<sup>2</sup>, а площадь соленых озер — 700 тыс. км<sup>2</sup>, т. е. гораздо меньшими, чем принято считать. Как отмечалось, еще А. Пенк

считал, что площадь озер равна примерно 2500 тыс. км<sup>2</sup>, и, следовательно, в подсчете Нейса площадь озер преуменьшена чуть ли не в 2 раза. В докладе Р. Нейса в Рединге говорится, что запасы воды в озерах известны плохо. Так, в Северной Америке достаточно точно определены объемы воды только в Великих озерах. Не исследованы в этом отношении крупнейшие озера Африки и Азии и сотни тысяч мелких озер на всех континентах.

Из сказанного явствует, что более близкой к действительности, по-видимому, следует считать величину объема воды в озерах, даваемую Полдвервартом. Но согласованной оценки пока еще нет. Так, Г. П. Калинин запас воды в озерах определяет в 750 тыс. км<sup>3</sup> (1968), такое же число называется в статье «Вода» в третьем издании БСЭ (т. 5). Но в том же томе в статье «Водные ресурсы» М. И. Львович приводит цифру 230 тыс. км<sup>3</sup>, как у Нейса, а А. А. Соколов в статье «Гидросфера» (т. 6) — 500 тыс. км<sup>3</sup>, как у Полдверварта.

Хотя удовлетворение потребностей общества в пресной воде связано прежде всего с использованием возобновляемых речных вод, а не озерных, необходимость знания запасов последних доказывать не требуется.

В результате более чем столетнего изучения ледников получены данные и о количестве содержащейся в них воды. А. Пенк считал, что в ледниках находится 1% объема воды в океане (см. Левинсон-Лессинг, 1892). В. Гальбфас в 1913 г. определял объем ледниковых вод всего в 3,5—4 млн. км<sup>3</sup>. Но Э. Коссина объем льдов Антарктики и Гренландии, где находится их основная масса (по современным данным, почти 90%), предположительно считал в пределах 22±4 млн. км<sup>3</sup> (Kossinna, 1933, стр. 886).

В последующем появились более высокие, но столь же различные оценки объема ледников. Например, оценки А. Кайё (1959 г.) — 35,5 млн. км<sup>3</sup>, Р. Флига — 24 млн. км<sup>3</sup>, А. Бауэра — 32,3 млн. км<sup>3</sup> (см. Калесниц, 1963, стр. 499).

Таблица 23. Основные характеристики криосферы Земли, по П. А. Шумскому и А. Н. Кренке

Вид льда	Масса		Площадь распространения		Средняя концентрация г·см <sup>-2</sup>	Скорость прироста массы, г·год <sup>-1</sup>	Среднее время жизни, год
	г	%	млн. км <sup>2</sup>	%			
Ледники	2,398·10 <sup>22</sup>	98,95	16,2	10,9 суши	1,478·10 <sup>8</sup>	2,5·10 <sup>18</sup>	9580
Подземный лед	(2÷5)·10 <sup>20</sup>	0,83	21,0	14,1 суши	(9,52÷23,8)·10 <sup>8</sup>	(6÷7)·10 <sup>18</sup>	30—75
Морской лед	3,483·10 <sup>19</sup>	0,14	26,0	7,2 океана	1,34·10 <sup>2</sup>	3,33·10 <sup>19</sup>	1,05
Снежный покров	1,05·10 <sup>19</sup>	0,04	72,4	14,2 Земли	1,45·10 <sup>1</sup>	(2÷3)·10 <sup>19</sup>	0,35—0,52
Айсберги	7,65·10 <sup>18</sup>	0,03	63,5	18,7 океана	1,43·10 <sup>19</sup>	1,88·10 <sup>19</sup>	4,07
Атмосферный лед	1,68·10 <sup>18</sup>	0,01	510,1	100 Земли	3,3·10 <sup>-1</sup>	3,89·10 <sup>20</sup>	4·10 <sup>-3</sup>
	2,423·10 <sup>22</sup>	100,00					

Материалы, полученные в период Международного геофизического года (МГГ), когда исследованиями по единой программе было охвачено большинство районов земного шара, позволили произвести новые подсчеты объема льдов земного шара. По одному из подсчетов объем льда на Земле оказывается равным 26,66 млн. км<sup>3</sup> (Количество льда на Земле, 1962). Согласно К. К. Маркову и И. А. Суетовой, общий объем ледников составляет 26,82 млн. км<sup>3</sup> (24,674 млн. км<sup>3</sup> воды), в том числе в Антарктиде 23,92 млн. км<sup>3</sup>, в Гренландии 2,7 млн. км<sup>3</sup> и в прочих ледниковых

областях 0,2 млн. км<sup>3</sup> (Марков, Суетова, 1964). Обобщение и анализ материалов МГГ даны в статье П. А. Шумского и А. Н. Кренке «Современное оледенение Земли и его изменения» (1964), из которой мы берем таблицу, характеризующую основные виды льда на земном шаре, их массы, площади распространения и другие сведения о них (табл. 23).

Таким образом, в настоящее время наиболее достоверной оценкой объема воды, заключенной во льдах (почти на 99% — в ледниках), следует считать 24—25 млн. км<sup>3</sup>. Х. Пенмэн отмечает, что на симпозиуме в Рединге все сошлись на цифре 50 м для всей поверхности Земли (Пенмэн, 1972, стр. 64).

Для оценки объема почвенной влаги ограничимся данными Нейса — 66 тыс. км<sup>3</sup> и советских гидрологов — 82 тыс. км<sup>3</sup> (см. Куделин, и др., 1970).

О массе воды в живых организмах В. И. Вернадский писал (IV, 2, 1960, стр. 77), что она составляет 10<sup>18</sup> — 10<sup>19</sup> г, т. е. 1—10 тыс. км<sup>3</sup> (он приводил и во много раз большие значения).

По расчету А. М. Алпатыева масса живого вещества современной гидросферы составляет 1,4 · 10<sup>18</sup> г и в нем связано около 10<sup>18</sup>—10<sup>20</sup> г воды (Алпатыев, 1969, стр. 161). Нижний предел равен 72% воды в биомассе; но верхний предел, в соответствии с которым А. М. Алпатыев вычисляет слой воды для всей поверхности Земли в 20 см, остается неясным (часть больше целого!).

Х. Пенмэн говорит, что о количестве воды во всей флоре и фауне можно только гадать, и определяет его слоем всего в 1 мм, т. е. объемом 0,5 тыс. км<sup>3</sup>.

Первый подсчет суммарного количества влаги (водяных паров) в атмосфере был произведен в 1909 г. немецким метеорологом В. Мейнардусом (Meinardus, 1911). Воспользовавшись данными С. Аррениуса о средних значениях влажности воздуха в различных широтных зонах, он вычислил содержание водяных паров в столбе воздуха с площадью основания в 1 м<sup>2</sup> по формуле Зюринга — Ганна

$$W_h = 2,17 d_0 \left(1 - 10^{-\frac{h}{5}}\right) \text{ кг,}$$

где  $d_0$  — количество влаги в г/м<sup>3</sup> у поверхности Земли, а  $h$  — высота столба воздуха.

Общее количество одновременно содержащихся в атмосфере водяных паров оказалось эквивалентным 12 300 млн. т, или 12,3 тыс. км<sup>3</sup> воды. Этот объем, равномерно распределенный по всей поверхности Земли, дает слой высотой 24,4 мм.

Подсчеты более позднего времени существенно не меняют величину, полученную Мейнардусом. Так, американский метеоролог В. Хэмфрейс (Humphreys, 1940) объем влаги, одновременно содержащейся в атмосфере, принимает равным 13 тыс. км<sup>3</sup>, О. А. Дроздов и А. С. Григорьева

Таблица 24. Объемы воды в различных частях гидросферы

Части гидросферы	Объем, тыс. км <sup>3</sup>	Интенсивность водообмена, годы	Части гидросферы	Объем, тыс. км <sup>3</sup>	Интенсивность водообмена, годы
Мировой океан	1 338 000	3000	Криосфера	25 000	9600
Подземные воды всей литосферы	800 000	—	Озера	500	20
в том числе свободные гравитационные воды до глубины 5 км	60 000	5000	Руслу рек	2	0,055
			Почвы	80	1
			Атмосфера	14	0,027

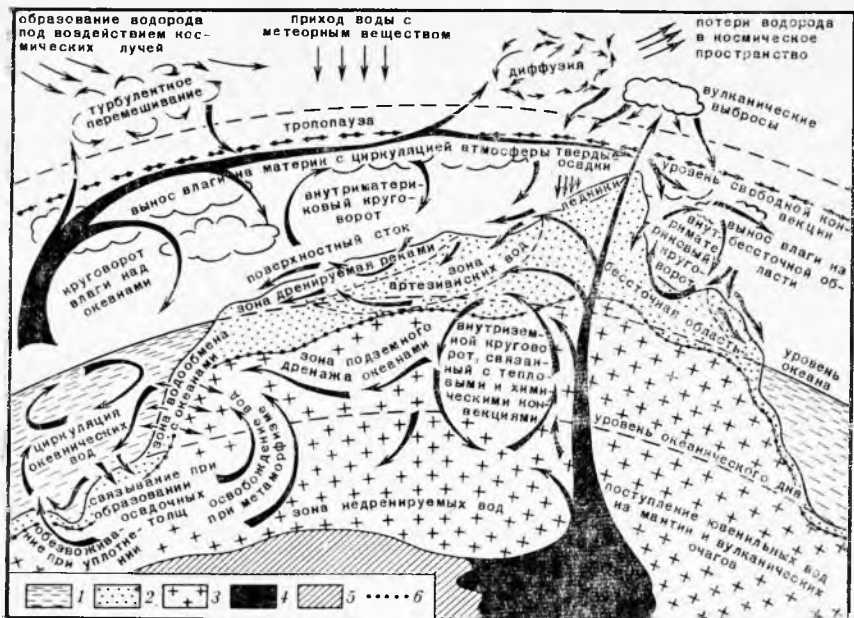


Рис. 25а. Принципиальная схема единства вод Земли (составлена Л. С. Абрамовым)  
 1 — свободные воды океана; 2 — чехол осадочных пород; 3 — кристаллические породы земной коры; 4 — магматический очаг; 5 — породы мантии; 6 — верхняя и нижняя границы зоны интенсивного водообмена

(1963, стр. 141) — 12—13 тыс. км<sup>3</sup>, М. И. Львович — 13—15 тыс. км<sup>3</sup>. В. И. Вернадский (IV, 2, 1960, стр. 36) сильно преувеличивал объем воды в атмосфере, оценивая его в 60 тыс. км<sup>3</sup>.

Если количественные данные о различных видах природных вод, которые в свете изложенного можно считать наиболее обоснованными, представить в табличной форме, то таблица будет иметь следующие оценки объемов воды в различных частях гидросферы (табл. 24).

Как уже сказано, В. Мейнардус определил в 1909 г. интенсивность атмосферного влагооборота. М. И. Львович определил в 1945 г. интенсивность (активность) водообмена в русловой сети, а в 1964 г. и в других частях гидросферы.

В настоящее время достоверными можно считать лишь данные об объемах воды в Мировом океане и в атмосфере. Английский метеоролог Р. Сатклифф, бывший председателем Организационного комитета проведенного в Англии в августе 1970 г. симпозиума по мировому водному балансу, в своем докладе «Глобальный водный баланс — геофизическая проблема», давая количественные оценки различных видов вод, указывает, что точность определения объемов вод океана равна 1%, подземных вод (зоны активного водообмена) — 50%, льдов — с возможным увеличением на 100% (его абсолютная цифра — 60 млн. км<sup>3</sup>), поверхностных вод суши — несколько процентов, атмосферной влаги — несколько процентов, объема воды в живых организмах — подсчет приблизительный (его абсолютная цифра — 0,5 тыс. км<sup>3</sup>) (Сатклифф, 1972, стр. 12).

Гидросфера, рассмотренная здесь в стационарном состоянии, в действительности, конечно, представляет собой весьма динамичную систему с многочисленными круговоротами, физическими превращениями и химическими реакциями воды. Благодаря им и осуществляется единство вод Земли, которое всегда подчеркивалось В. И. Вернадским и другими учеными и которое так ясно показано в разработанной в 20-х го-



дах В. Г. Глушковым подробной схеме круговорота воды (Глушков, 1961).

В схеме В. Г. Глушкова, как замечает М. И. Львович, не хватает, однако, должного отражения биогенных гидрологических процессов, играющих, как это хорошо показано А. М. Алпатьевым (1969), отметим мы, весьма важную роль в круговороте воды в природе.

Наглядное представление о единстве природных вод земного шара, о наземных и внутриземных круговоротах воды дает рис. 25,а. Что касается представлений о количествах воды, участвующих в этих круговоротах, то об этом еще будет сказано.

Наконец, отметим попытки определения содержания воды в планете в целом и в ее мантии в частности. Имея в виду уменьшение содержания воды с ростом глубины, П. Н. Чирвинский (1922 г.) и В. Залемон (1924 г.) вычислили, что для всего земного шара она составляет по весу у первого  $3 \cdot 10^{-4}\%$ , у второго  $2 \cdot 10^{-2}\%$  (см. Вернадский, IV, 2, стр. 32).

Дальше будет показано, что вода гидросферы, как и вещество самой литосферы, выделилась из мантии. Если считать, что в мантии, имеющей при мощности 2900 км объем 900 млрд. км<sup>3</sup>, содержится, как и в каменных метеоритах, до 0,5% воды, то она заключает в себе минимально 13—15 млрд. км<sup>3</sup> воды, т. е. в 10 раз больше объема ее в Мировом океане (Макаренко, 1966, стр. 87). Но есть и более высокие оценки воды в мантии. Так, по Дж. Кальпу (1951 г.), в мантии содержалось  $2,5 \cdot 10^{25}$  г воды, из которых 14% выделилось в земную кору, на земную поверхность и улетучилось в космос. А. П. Виноградов (1959) определяет содержание воды в мантии в  $2 \cdot 10^{25}$  г (включая 7,5% выделившейся воды.)

## ГЕНЕЗИС ВОДЫ И ОБРАЗОВАНИЕ ГИДРОСФЕРЫ

### ОБРАЗОВАНИЕ ГИДРОСФЕРЫ

Вопрос о происхождении воды и образовании гидросферы неразрывно связан с более общей проблемой естествознания — проблемой происхождения самой Земли и нашей солнечной системы. Следовательно, и развитие представлений о происхождении воды на нашей планете должно рассматриваться в связи с эволюцией космогонических теорий.

Какой бы легендой или научной гипотезой ни объяснялось происхождение мира, в любой из них вопрос о воде не мог быть оставлен без ответа.

Уже в древних преданиях можно найти немало фантазий, касающихся воды. Вечность воды — вот главный мотив большинства мифов. Эпос вавилонян о творении мира начинается строками:

В старину, когда небо, вверху, еще не имело имени,  
А земля, внизу, еще не получила названия,  
Когда первоначальный океан, их отец,  
И бездна Тигамат, их общая мать,  
Смешивали свои воды воедино...  
Тогда возникли первые боги...

В Ригведе, гимнах древней Индии, говорится: «Тогда еще не было ни бытия, ни небытия, ни воздушного океана, ни небесного свода, — был мрак, было первичное вселенское море...»

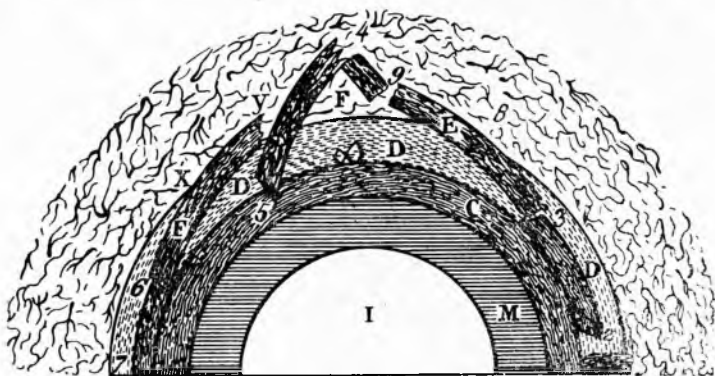
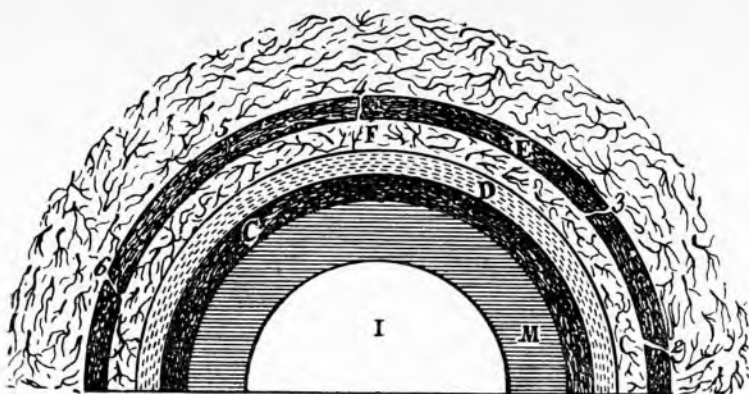
Уже говорилось о воде как о главном или одном из главных элементов материи в философиях древних мыслителей. Добавим здесь следующее.

Платон считал, что «когда предпринималось устройство Вселенной, огонь, земля, воздух и вода... представляли уже некоторые черты своей природы» (Платон, 1879, стр. 428).

В самой первоматерии Аристотеля присутствует возможность образования воды как проявления двух ее качеств — влажного и холодного. Аристотель считал океан вечным, поскольку вечна сама Вселенная с ее центральным шаровидным телом — Землей. Признавая закономерную изменчивость соотношения суши и моря, Аристотель называл «сказкой Эзопа» верную своей эволюционностью мысль великого материалиста Демокрита (460—370 гг. до н. э.) о том, что Земля в начале ее образования была влажной, илоподобной, затем стала высыхать и твердеть и что этот процесс, непрерывно продолжаясь, приведет к исчезновению морей и к полной потере Землей влаги.

Сенека, как замечает Б. Варений, считал излишним спрашивать о происхождении воды, поскольку она такой же элемент, как и земля, воздух и огонь, о начале которых не спрашивают.

Первая естественнонаучная концепция происхождения Земли, лишенная библейского влияния, была выдвинута Р. Декартом в его «Трактате о свете», написанном в 1633 г. и опубликованном в 1664 г. Разделяя атомистическое учение Демокрита, он полагал, что вся материя состоит из мельчайших частиц различной формы, находящихся в вихревом дви-



Р и с. 26. Образование гидросферы, по Р. Декарту

жении, в результате которого и образовались Солнце, звезды, Земля и другие планеты. С течением времени произошла дифференциация слоев Земли различного состава (рис. 26). Твердая кора *М* с состоящим из металлов слоем *С* прочно сковывала огненно-жидкое, подобное Солнцу, ядро *И*. Поверх слоя на первых порах собрался сплошной покров жидкой воды *Д* с простирающейся над ним атмосферой *Ф*. Но поскольку атмосфера в первое время не была чистой, в ней постепенно образовалась новая пленка *Е* из глины, песка, пыли, каменных обломков. Солнечные лучи, пронизывая эту тонкую пленку, нагрели воду, пленка разрушилась, образовались горы, пары поднялись вверх, а вода образовала моря и океаны.

Спустя 60 лет другой знаменитый ученый XVII в., Г. В. Лейбниц (1646—1716 гг.), высказал («Протогея», 1693 г., издано в 1749 г.) по существу не расходящуюся с декартовской гипотезу возникновения Земли. Он считал, что первоначально Земля была раскаленным, как и Солнце, телом, но постепенно остыла, сохранив внутреннее огненное ядро. По поводу образования океанической воды Лейбниц писал в своем сочинении «Теодицея» (1710 г.): «...когда поверхность Земли после страшного пожара охладела, тогда влага, поднятая огнем в воздух, снова упала на Землю, омыла ее поверхность, растворила и впитала в себя твердые части соли, которая оставалась в пепле, и таким образом наполнила огромную пустоту на поверхности нашего земного шара, образовав океан с его соленой водою» (Лейбниц, 1887—1892, стр. 258).

В тот же период, т. е. в XVII и самом начале XVIII в., были высказаны теории образования Земли, авторы которых стремились согласовать свои рассуждения с библейским сказанием о божественном акте творения Земли.

Таковы, например, теории англичан Томаса Бернета (1635—1715 гг.) и Вильяма Вистона (1667—1752 гг.). По обеим теориям ядро Земли представляется огненным. Потоп, по Бернету, произошел вследствие иссушения Солнцем внешней оболочки Земли, разрушения ее и выхода глубинных вод на поверхность; по Вистону, причиной потопа было столкновение (в 2349 г. до н. э.) Земли с кометой, в результате которого произошло соединение внутренних вод Земли с водами кометы.

Согласно третьему английскому автору, Джону Вудворду (1665—1695 гг.), ядро Земли заполнено водой, соединяющейся каналами с океаном. Причина потопа, по Вудворду, в общем та же, что и по Бернету, с той лишь разницей, что разрушение земной тверди произошло вследствие внезапного растворения ее в воде.

Таким образом, что касается происхождения воды, то хотя авторы названных теорий происхождения Земли старались согласовать их с библейской догмой, вода в некоторых из них выступает как субстанция, существующая уже до божественного творения Земли. По всем этим теориям океаны вместили в себя воду, оставшуюся на поверхности Земли после потопа, когда часть воды ушла в земные недра.

Легенда о всемирном потопе в XVII и начале XVIII в. стала господствующей и даже преподносилась как естественнонаучная теория геологических перемен, происходивших на нашей планете.

Но, как говорит в своей «Истории Земли» известный австрийский геолог Р. Неймайр, «на границе между древним и новым периодом естествознания» появляется французский естествоиспытатель Жорж Луи Леклерк Бюффон (1707—1788 гг.), сыгравший большую прогрессивную роль в истории науки. Он выдвинул в 1745 г. гипотезу образования планет из раскаленного вещества Солнца, вырванного из него кометой. «Комета,— пишет Бюффон,— косым падением в Солнце, сделавши на поверхности борозду, отшибла от него  $1/650$  часть вещества» (Бюффон, I, 1789, стр. 144). Образовавшиеся вследствие взаимного притяжения частей шарообразные тела — Земля и другие планеты,— принужденные обращаться вокруг Солнца, постепенно остывали, и когда Земля остыла, «то влажные части, в виде паров вверх поднявшиеся, упали на Землю и моря составили» (там же, стр. 186), причем вначале вода покрывала всю Землю слоем глубиной от 5 до 600 футов.

Бюффон подверг критике «доказательства» существования всемирного потопа как естественного явления<sup>1</sup>.

Спустя 10 лет, в 1755 г., И. Кант опубликовал свое сочинение «Всеобщая естественная история и теория неба». В нем он развил гипотезу происхождения Солнца, планет и их спутников из разреженной туманности, нагревавшейся вследствие вихревого движения, возникшего в результате неодинаковости сил притяжения различных элементов туманности. Эта гипотеза вошла в историю науки под названием небулярной (от латинского *nebula* — туман) гипотезы Канта—Лапласа, поскольку она была в более научной форме развита в опубликованном в 1796 г. сочинении выдающегося французского математика П. С. Лапласа «Изложение системы мира». Согласно Лапласу, планеты возникли из вращающейся раскаленной атмосферы Солнца, простиравшейся первоначально за границу всех планет.

По поводу образования морских бассейнов Кант в статье «Вопрос о том, стареет ли Земля с физической точки зрения», прямо связанной по содержанию с его «Всеобщей естественной историей и теорией неба», пишет, что еще не остывшая (жидкая) внутренность Земли «непрерывно посылала упругие массы воздуха вверх под затвердевшую кору и создава-

<sup>1</sup> Заметим здесь, что в связи с вопросом о всемирном потопе И. Кантом было высказано предположение о том, что Земля имела на ранней стадии своего развития кольцо, состоящее из водяных паров, которые выпали ливнем на Землю в результате охлаждения или нарушения их равновесия проходившей кометой.

ла под ней обширные пустоты, что привело к образованию различных впадин, неровностей на земной поверхности, материков, горных хребтов, обширных морей, к отделению суши от воды» (Кант, 1963, стр. 105).

Образование же воды на поверхности Земли объяснялось конденсацией паров первичной атмосферы. В «Геологических картинах» немецкого геолога Б. Котта об этом говорится следующее. Постепенно «Земля дошла до состояния расплавленного ядра, окруженного со всех сторон твердою корою, которая в свою очередь была окружена тогдашнюю атмосферю. Но воды еще не было. Она могла образоваться только при охлаждении поверхности до температуры, которая не превышает точки ее кипения. Вероятно, точка кипения воды при тогдашнем давлении воздуха была гораздо выше нынешней» (Котта, 1859, стр. 5).

Выпадение воды из остывшей атмосферы на остывшую поверхность Земли представлялось Б. Котта, как и другими учеными того времени (в русской литературе, например, академиком Э. И. Эйхвальдом в его известной «Геогнозии», 1846 г.), явлением кратковременным, катастрофическим. Даже более полвека спустя, в 1912 г., крупный немецкий геолог И. Вальтер (1860—1937 гг.) в своем сочинении «История Земли и жизни» писал: «Для образования каменной оболочки Земли потребовались многие тысячелетия. Но для того, чтобы первобытная атмосфера охладилась настолько, чтобы выпала первая капельно-жидкая вода, для этого потребовалось, быть может, всего несколько дней» (Вальтер, 1912, стр. 87). Вместе с тем, он говорил и о дальнейшем постоянном пополнении воды в океане за счет выделения ее из магмы через вулканы.

Американский астроном Х. Шепли в изданной у нас в 1962 г. книге «Звезды и люди» перечисляет пятнадцать различных гипотез, следовавших за гипотезой Канта—Лапласа, замечая при этом, что «новые знания, добытые астрономами мира за последние 40 лет, во много раз превосходят все, что было известно ранее за всю историю цивилизации» (Шепли, 1962, стр. 69).

Именно эти новые астрономические знания, а также физико-химические данные о земном и космическом веществе явились основой построения новых космогонических теорий — теорий происхождения солнечной системы из холодных газопылевых туманностей, т. е., в сущности, возрождения небулярной гипотезы Канта, но только на базе несравнимо более богатых научных данных.

Наиболее последовательной теорией образования планет из холодного космического материала признается теория советского ученого О. Ю. Шмидта (1891—1956), разработанная им и его сотрудниками в 40-х гг. По этой теории планеты образовались из захваченного Солнцем холодного галактического пылевого метеоритного облака<sup>1</sup>. Сначала в пределах облака возникли многочисленные астероидные тела, а затем из роя этих тел началось образование планет, наращивавших свои массы путем вычерпывания окружающего их материала при обращении возникших ядер конденсации вокруг Солнца. Мнение, что планеты образовались путем аккумуляции твердого вещества астероидных размеров, было высказано в 50-х гг. и американским ученым Г. Юри. Обоснованию гипотезы метеоритного происхождения тел солнечной системы, в том числе и самого Солнца, посвящен ряд работ К. З. Старикова, опубликованных начиная с 1962 г. (Стариков, 1972).

Разработка вопросов теории О. Ю. Шмидта в Институте физики Земли АН СССР показала, что падавшие на Землю при ее образовании тела достигали размеров до тысячи километров в поперечнике (Сафронов, 1971, стр. 20). Этот вывод должен иметь важное значение при объясне-

<sup>1</sup> Интересно отметить, что еще А. Э. Норденшельдом (1832—1901) была высказана гипотеза образования Земли путем аккумуляции космической пыли, а не путем конденсации раскаленных газов (см. Kish, 1974).

нии процесса формирования лика Земли, образования материков и океанических впадин.

Уже в первоначальном пылевом диске термические условия во внутренней и внешней относительно Солнца зонах оказались резко различными. «Небольшая внутренняя зона, ближайшая к Солнцу, — пишет О. Ю. Шмидт, — прогревалась его лучами, и здесь могли существовать только частицы из тугоплавких каменистых веществ. Огромная внешняя зона оказалась загороженной от лучей Солнца, и здесь температура пылинок была столь низкой, что на них намораживались летучие вещества, такие, как водяные пары, уголекислота, метан, аммиак и родственные им соединения. Тугоплавкие пылинки внутренней зоны послужили материалом для небольших планет земной группы, а крупные обмерзшие инеем частицы внешней зоны — материалом для планет-гигантов» (Шмидт, 1956). Поверхность Земли, утверждает О. Ю. Шмидт, имела всегда «приблизительно теперешнюю температуру» (Шмидт, 1946), которая, как пишет Б. Левин, «всегда определялась теплом, приходящим от Солнца» (Левин, 1959). Но если по мнению одних ученых температура поверхности Земли никогда не была высокой и только в период наибольшего выделения радиогенного тепла она достигала в глубоких слоях оболочки примерно  $1000^{\circ}$ , то по мнению других — Земля на конечной стадии ее формирования из протопланетного холодного газопылевого облака разогревалась до огненножидкого состояния, теряя при этом большую часть своей массы (Фесенков, 1957, 1959, 1963; Койпер, 1961). По поводу термической истории нашей планеты следует сказать, что, как считает Е. А. Любимова, «эволюция Земли направлена в сторону ее постепенного векового разогревания под действием тепла медленно распадающихся радиоактивных элементов и, возможно, гравитационной дифференциации Земли» (Любимова, 1962). Но, как она, так и многие другие геофизики, в том числе, например, Б. Гутенберг (1963), считают, что все еще продолжают разогреваться глубокие области Земли, включая ее ядро, но что верхняя часть оболочки охлаждается.

Можно, говорит В. И. Баранов, считать достоверной при любых космогонических представлениях следующую хронологию этапов развития Земли (Баранов, 1963):

1. Образование химических элементов, в том числе радиоактивных, в протопланетном веществе (5,2—6 млрд. лет назад).
2. Образование индивидуального тела — будущей Земли, в котором не происходит образования химических элементов (4,5 млрд. лет назад).
3. Разделение массы Земли на оболочки и дальнейшее эволюционирование ее благодаря внутренней энергии (4,0—4,5 млрд. лет назад).
4. Образование сохранившихся до нашего времени радиоактивных материалов (возраст самых древних из них около 3,5 млрд. лет).
5. Образование Мирового океана и атмосферы (2,7—3 млрд. лет назад).

В работе, опубликованной в 1971 г., В. И. Баранов возраст земной коры, атмосферы и гидросферы исчисляет в 4—5 млрд. лет (Баранов, 1971, стр. 38).

Природа не имеет недостатка в строительном материале для образования молекул воды.

Главными элементами газов межзвездного вещества, составляющих вместе с пылью половину вещества Вселенной (другая половина — материя звезд), являются водород, гелий и кислород (Мельников, 1957; Мельников и др., 1965). В химическом составе межзвездных пылинок первое место занимают молекулы  $H_2O$  (Мельников, 1957).

Уже в холодном протопланетном газопылевом облаке при таком обилии водорода и в результате каталитического действия пыли свободные радикалы кислорода должны были перейти в молекулы воды. «Кажется определенным, — пишет Г. Юри, — что углерод, азот и кислород существо-

вали в солнечной небуле и в протопланетах главным образом в виде стабильных молекул  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ » (Угеу, 1952, стр. 115).

О. Ю. Шмидт указывал на то, что «в межзвездном пространстве должны быть и конденсаты метана, аммиака и воды (т. е. лед)» (Шмидт, 1949).

По мнению Юри, образование планетезималей, т. е. отдельных тел, явившихся как бы блоками будущих планет и состоявших из смеси силикатов и небольшого количества железа, а также из воды и аммиака, происходило только благодаря коагулирующему действию последних на тонкую пыль протопланетного облака.

Но дальнейшая история воды, вошедшей в состав планетезималей или находившейся в газопылевой смеси протопланетного диска, уже не может быть рассматриваема независимо от точки зрения на последующую эволюцию этого диска. Принципиальное значение имеет ответ на вопрос, образовались ли планеты из огромных протопланет с потерей при этом большей части их массы вследствие диссипации легких веществ и расплавления в процессе сжатия, или они образовались как холодные тела, постепенно наращивавшие свою массу.

Если Земля проходила стадию огненно-жидкого состояния, то она должна была иметь плотную, насыщенную водяными парами атмосферу, из которой при последующем остывании и выделилась значительная часть воды океанов (до 16% согласно В. Руби, см. далее). Если же поверхность Земли никогда не была сильно разогретой, то Земля в начале своей геологической истории не имела атмосферы и гидросферы и приобрела их позже.

Согласно теории О. Ю. Шмидта, первоначальная Земля, образовавшаяся из твердых тугоплавких веществ, не могла иметь водной и газовой оболочки. Что же касается того, допускали ли температурные условия, существовавшие в земной зоне околосолнечного облака, «намерзание или сорбцию достаточного количества водяных паров или же вода была принесена льдистыми телами (подобными ядрам комет), залетевшими из более далеких частей облака» (Шмидт, 1956), то О. Ю. Шмидт считал, что этот вопрос должен быть уточнен дальнейшими исследованиями.

Образование атмосферы и гидросферы в теории Шмидта связывается целиком с выделением водяных паров и других газов из глубоких недр Земли в результате разогрева их радиогенным теплом.

Ниже мы еще остановимся на аргументах, показывающих, что наиболее существенные факты, относящиеся к проблеме образования гидросферы и атмосферы, лучше объясняются с позиции гипотезы «холодного» образования Земли.

Представление об образовании всей или большей части гидросферы в результате ступенчатого испарения паров горячей атмосферы при ее остывании до критической температуры и вне связи с процессами в земной коре уже давно было подвергнуто сомнению. Известный польский геофизик И. Д. Лукашевич (1863—1928 гг.) писал в 1911 г., что если допустить мысль о происхождении имеющейся на Земле воды из кислорода и водорода, входивших некогда в состав газового клуба Земли, останется неопределенным вопрос о ее количестве: «воды могло бы быть и очень много, и очень мало, соответственно с первичным запасом кислорода и водорода в газовом клубе» (Лукашевич, III, 1911, стр. 572).

Он считал, что гидросфера образовалась в результате выделения воды при застывании наружного слоя огненно-жидкой магмы. Если в первичной магме, говорил Лукашевич, содержалось  $a$  воды, в настоящее время ее имеется в земной коре  $b$  и в океанах  $c$ , то можно думать, что  $a = b + c$ .

Основываясь на данных о количестве воды, пропитывающей горные породы (минимум 1,41% земной коры по весу), грунтовой и другой свободной воды суши (0,5—0,6% веса коры) и принимая вес воды океана равным 1,9% веса литосферы, И. Д. Лукашевич считал, что, таким образом, вода

океанов вместе с водой внутри земной коры составляет около 4% веса литосферы. И. Д. Лукашевич массу литосферы принимал примерно равной  $70\,000 \cdot 10^{15}$  т, т. е. преувеличивал ее в два с лишним раза по сравнению с современными оценками. В то же время химические анализы показывают, что в магматических смоляных камнях (продуктах быстрого застывания вулканической магмы) содержится сопоставимое количество воды, а именно в среднем 4,66% по весу. И. Д. Лукашевич приходит к заключению о справедливости указанного равенства. Но, конечно, это равенство нельзя считать правильным, поскольку, как указывалось выше, источником воды в земной коре и на ее поверхности является вся мантия, из которой за геологическое время выделилось всего около десятой части содержащейся в ней воды (14% по Дж. Кальпу, 7,5% по А. П. Виноградову).

И. Д. Лукашевич допускал также выделение некоторой части воды из первичной атмосферы, когда образовалась и уже достаточно остыла земная кора. О постепенном накоплении океанической воды в течение всего геологического времени за счет выделения ее из остывающей магмы писали в те же годы крупные русские геологи А. П. Павлов (1854—1929 гг.) и А. Е. Ферсман (1883—1945 гг.). Вместе с тем они считали, что какая-то часть воды, сконденсировавшаяся из паров первичной атмосферы, образовала первобытное море. А. П. Павлов в работе «Геологическая история европейских земель и морей в связи с историей ископаемого человека», написанной в 1913—1919 гг., доказывал, что большой массы воды на Земле на ранней стадии ее геологической истории не было и что только из магмы глубин «могли постепенно образоваться нынешние огромные океаны» (Павлов, 1936, стр. 36). А. Е. Ферсман писал в 1914 г., что «из охлажденной оболочки газов собралось первое море» и что вместе с тем «как на наследие всего прошлого нашей планеты должны смотреть мы на расстилающиеся кругом водные пространства» (Ферсман, 1914).

Таким образом, уже в начале нашего века была высказана правильная идея о постепенном в течение длительного времени накоплении воды на Земле в результате выделения ее при остывании огненно-жидкой магмы, хотя эта идея и основывалась на космогонической гипотезе, оказавшейся во многих отношениях несостоятельной. Важно также отметить использование И. Д. Лукашевичем количественных геохимических данных для доказательства магматического происхождения гидросферы.

Следует сказать, что гипотеза первоначально расплавленной Земли все еще продолжает иметь своих сторонников. Один из наиболее видных среди них, Г. Джеффрис, по поводу образования водной массы пишет следующее. Поскольку первоначальная Земля была слишком раскалена, она не могла удержать водяной пар вокруг своей поверхности, и, следовательно, наибольшая часть воды нынешних океанов содержалась внутри Земли в магме вплоть до последней стадии ее дифференциации. По мере остывания Земли водяные пары выделились из магмы и образовали плотную атмосферу. Пока температура Земли и атмосферы была высокой, продолжалось рассеивание паров, но когда температура атмосферы снизилась до критической, на затвердевшую земную кору выпали огромные массы капельно-жидкой воды, образовавшей океан. Г. Джеффрис считает, что время, в течение которого газвораскаленная Земля превратилась в тело с твердой оболочкой, могло быть равным «скорее миллионам, а не тысячам лет» (Джеффрис, 1960, стр. 353). Таким образом, по Джеффрису, основная масса воды в океане образовалась из вторичной плотной атмосферы на самой ранней стадии истории Земли и в течение короткого времени. Дальнейшее увеличение объема воды в океане, пишет Джеффрис, происходило на протяжении всей геологической истории в результате вулканической деятельности.

В. Г. Фесенковым картина образования гидросферы на нашей планете представляется так. После того как с Земли, разогретейшей до «высокого



градуса», улетучилась вся первоначальная атмосфера, в последовавшем процессе остывания планеты она приобрела вторичную атмосферу, содержащую огромное количество водяных паров (так пишет В. Г. Фесенков в статье «Происхождение Солнца, Земли и жизни», 1965 г.). Конденсация этих паров и явилась источником первоначального объема воды в океане, который пополнялся благодаря выделению воды «из самых недр Земли в основном в процессе их остывания» (Фесенков, 1959). Здесь необходимо заметить, что, как говорит В. Г. Фесенков, хотя образование Земли как нагретого космического тела делает совершенно очевидной неизбежность потери огромного количества газообразных элементов, водорода в поверхностных слоях Земли сохранилось «все же в количестве, достаточном для образования океанских вод» (там же). Процесс образования твердой земной коры, а вместе с тем и гидросферы, длился, пишет он, 1 млрд. лет.

Рассмотрим теперь гипотезу образования гидросферы в результате постепенного радиогенного разогрева первоначально холодной Земли, который, однако, не достигал такой степени, чтобы привести земной шар в расплавленное состояние.

Крупный вклад в исследование проблемы образования гидросферы внесли американские ученые Р. Чемберлин, В. Руби, Г. Браун, Дж. Кальп, Г. Юри, А. Полдерварт и др. Опираясь на геохимические данные, они привели веские доказательства того, что гидросфера могла быть образована в результате выделения воды из глубоких недр в процессе их постепенной дегазации.

Р. Чемберлин в статье «Геологические доказательства эволюции земной коры» (1951), относящейся к 1948 г., рассмотрел вопрос об углекислом газе в первичной атмосфере и в земной коре в свете гипотез первоначально огненно-жидкой и холодной Земли. Если, пишет он, атмосфера, окружавшая расплавленный земной шар в течение некоторого времени, содержала в себе всю имеющуюся ныне на Земле воду, углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) и другие газообразные, не конденсирующиеся при высокой температуре, то что же случилось с  $\text{CO}_2$  после конденсации паров воды и образования океана? Нет геологических доказательств как того, что он вступил в соединение с горными породами, не покрывавшимися океаном, так как не обнаружено зон горных пород, исключительно богатых углеродом, так и того, что  $\text{CO}_2$  израсходовался постепенно, поскольку против этого свидетельствуют найденные в архейских породах следы оледенения, которое было бы невозможно при наличии атмосферы, богатой  $\text{CO}_2$ , обладающим «тепличным эффектом». Несомненно, углекислый газ выделялся из земных недр постепенно. Следовательно, постепенным был и процесс накопления воды на Земле.

В. Руби обращает внимание на то, что если количество главных породообразующих элементов (Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K и т. д.) в осадочном слое и в морской воде может быть объяснено выветриванием древних пород, то для весьма распространенных других веществ ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ , Cl, N, S и др.) этот источник является совершенно недостаточным (Руби, 1957).

В работе «Геологическая история морской воды» Руби показал, что имеется большой «избыток» летучих веществ, фактически находящихся на поверхности Земли и в осадочных породах сверх того их количества, которое могло бы образоваться путем выветривания земной коры (Rubeу 1951). Его подсчеты приводятся в табл. 25.

Очевидно, только недра Земли могли «добавить» к летучим продуктам выветривания огромные их количества, имеющиеся на Земле в настоящее время.

В. Руби рассмотрел вопрос о том, какое количество воды могла бы содержать первоначальная атмосфера при различных толщах полностью расплавленных пород. Основываясь на опытных данных о растворимости воды в расплавах и о поглощении воды магмой при различных значениях

Т а б л и ц а 25. Баланс летучих веществ в земной коре (в  $1 \cdot 10^{20}$  г)

	H <sub>2</sub> O	C+CO <sub>2</sub>	Cl	N	S	H, B, Br, Ar и др.
Имеется фактически	16 700	921	306	43	28	16,7
Могло образоваться путем выветривания	130	11	5	0,6	6	3,5
Избыток	16 600	910	300	42	22	13,2

парового давления, Руби установил, что при полном расплавлении Земли до самого центра по условию равновесия между расплавленной массой и окружающей ее газовой оболочкой расплавом должно поглощаться около 99% воды, выделившейся на поверхность.

В этом случае воды в первоначальной атмосфере может быть около  $2,6 \cdot 10^{20}$  кг, т. е. никак не больше 16% ее количества в современных атмосфере, океане и осадочных породах. Таким образом, и при допущении гипотезы огненно-жидкого состояния первичной Земли образование гидросферы представляется как длительный процесс постепенного выделения воды из земных недр.

Интересно к доказательству магматического происхождения воды подошел Г. Браун в статье «Редкие газы и образование земной атмосферы» (1948 г.). Он вычислил верхний (в горных породах) и нижний (в атмосфере) пределы содержания в Земле редких газов Ne, Ar, Kr и Xe и их отношения к одному из основных элементов Земли — кремнию. Те же вычисления он сделал для указанных газов в космическом пространстве. Затем, определив, насколько изменилось содержание редких газов по отношению к содержанию кремния за время процесса образования Земли, он построил кривую для так называемых фракционных множителей, представляющих собой отношения содержания каждого газа к кремнию в космосе, деленные на те же отношения, наблюдающиеся на Земле. Воспользовавшись этой кривой, он показал, что «в течение процесса образования Земли главные составные части атмосферы — вода, азот, кислород и углекислота — не могли быть газообразными в больших количествах» (Браун, 1951) и что они находились в химическом соединении с другими веществами протопланеты. Вообще он считает, что Земля в процессе своего образования удержала только химически связанные с ее веществом газы и соединения и что, следовательно, редкие инертные газы не могли быть ею удержаны. Отсюда следует также вывод, что атмосфера Земли имеет «вторичное» происхождение и является продуктом химических процессов, происходивших после образования планеты.

Обстоятельно проблему происхождения гидросферы рассмотрел академик А. П. Виноградов.

В многочисленных работах, посвященных этой проблеме, А. П. Виноградов говорит, что он придерживается взгляда о разогревании холодного вещества Земли на ранней стадии ее развития и о выплавлении летучих элементов, которые были в химической связи с ним.

В числе фактов, объяснение которых является наиболее трудным для гипотезы «горячего» образования нашей планеты, он указывает на отсутствие на Земле тяжелых инертных космических газов при сохранении H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, HF, Cl, S и некоторых других элементов и соединений, а также на то, что изверженные породы содержат меньше 1% H<sub>2</sub>O; между тем если бы расплавленная Земля была вначале окутана тяжелой атмосферой, насыщенной парами воды, то в породах мантии должно было бы раствориться гораздо большее количество воды и других летучих газов. В составе наиболее древних горных пород, в их структуре, подчеркивает А. П. Виноградов; нет даже следов того, что первичная Земля была огненно-жидкой (Виноградов, 1967, стр. 10).

А. П. Виноградов, как и названные выше американские исследователи, считает, что «имеющиеся данные по содержанию на поверхности Земли  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $HF$ ,  $S$ ,  $V$  и ряда других элементов или соединений позволяют однозначно утверждать, что они не могли быть продуктами разрушения — выветривания горных пород земной коры» (Виноградов, 1959), тем более в начале процесса, поскольку «образование земной коры пло путем выплавления легкоплавкой фракции силикатов параллельно с дегазацией» (там же, стр. 21).

Расчеты, говорит А. П. Виноградов, показывают, что вся продукция газов на поверхности Земли доставлялась практически из всей толщи мантии. Вот расчет для воды. Масса литосферы равна  $2,4 \cdot 10^{25}$  г, а масса воды на поверхности Земли —  $1,5 \cdot 10^{24}$  г, т. е. величины соизмеримые, и, следовательно, только вещество мантии могло быть источником  $H_2O$  на земной поверхности. Что касается мантии и ядра, то запасы воды в них велики. По определению Дж. Кальпа (Kulrp, 1951), из подкоровой оболочки и ядра Земли со времени их образования выделилось  $3,4 \cdot 10^{24}$  г воды. Расчет таков. Среднее содержание воды в каменных метеоритах, которые, судя по их основным физико-химическим характеристикам, несомненно, являются телами нашей солнечной системы, равно около 0,54%. При массе мантии  $4,0 \cdot 10^{27}$  г получаем около  $2,5 \cdot 10^{25}$  г воды в ней. Далее Кальп полагает, что со времени образования Земли в кору и гидросферу выделилось из мантии столько же процентов воды, сколько выделилось процентов аргона  $Ar^{40}$  — продукта преобразования калия  $K^{40}$ ; а именно 14%. Тогда получается, что из мантии выделилось примерно  $3,4 \cdot 10^{24}$  г воды, из которых около  $1 \cdot 10^{24}$  г диссоциировалось и улетучилось в пространство, а остальное количество следующим образом распределилось в атмосфере, гидросфере и коре:

в атмосфере	$0,00 \cdot 10^{24}$ г
в гидросфере	$1,40 \cdot 10^{24}$ г
в осадочных породах	$0,09 \cdot 10^{24}$ г
в метаморфических породах	$0,02 \cdot 10^{24}$ г
в базальтовом слое	$0,73 \cdot 10^{24}$ г

Всего —  $2,24 \cdot 10^{24}$  г

Приведем также расчет В. Руби из его работы «Геологическая история морской воды».

Общую массу континентальных коровых пород, выделившихся за геологическую историю из земных глубин, он определяет в  $26,5 \cdot 10^{24}$  г. Среднее содержание воды в кристаллических породах, согласно Ф. Кларку (1924 г.), 1,15%, т. е. в них содержится  $0,305 \cdot 10^{24}$  г воды. Прибавив к этому количеству  $1,66 \cdot 10^{24}$  г воды, находящейся в атмосфере, океане и осадочных породах, получим  $1,965 \cdot 10^{24}$  г воды, вышедшей за геологическую историю из подкоровой области вместе с  $26,5 \cdot 10^{24}$  г «гранитных» магм, образовавших континентальные массивы. Руби предполагает, что эти  $26,5 \cdot 10^{24}$  г коровых пород были выплавлены из области, заключенной между нижней границей коры (38 км) и глубиной 700 км, т. е. предельной границей очагов землетрясений. Общая масса пород указанной толщи в пределах континентальных районов составляет около  $500 \cdot 10^{24}$  г. Эти породы, будучи подвергнутыми несколько раз частичному избирательному плавлению, из своего первоначального объема ( $526,5 \cdot 10^{24}$  г) выделили  $1,965 \cdot 10^{24}$  г, или 0,37% ( $1,965/526,5$ ) воды. Следовательно, первоначально «гранитные» магмы содержали в растворе  $1,965/26,5 = 7,4\%$  воды, из этого количества 6,3% ( $1,66/26,5$ ) выделилось на поверхность в процессе рекристаллизации магмы, а остальная вода (1,1%, что как раз совпадает с данными Ф. Кларка) осталась в кристаллических породах земной коры.

А. П. Виноградов определяет содержание воды в мантии в  $2 \cdot 10^{25}$  г, а процент дегазации ее по содержанию в атмосфере ( $5 \cdot 10^{21}$  г) и в гид-

росфере ( $1,5 \cdot 10^{24}$  г) равным 7,5. Дегазацию  $\text{Ag}^{40}$  он считает равной 9,5%, т. е. близкой к проценту дегазации воды (Виноградов, 1963, стр. 339).

Основным источником тепла, приведшего к разогреванию вначале холодного вещества Земли, А. П. Виноградов считает энергию, освобожденную при адиабатическом уплотнении вещества, и энергию радиоактивного распада элементов<sup>1</sup>. Но если тепло первого источника не повело к повышению температуры планеты, то тепло радиоактивного распада, генерация которого на заре истории Земли, т. е. примерно  $4,7 \cdot 10^9$  лет назад, в 8—9 раз превышало нынешнее его количество, хотя и было недостаточным для полного расплавления Земли, все же могло вызвать глубокие физико-химические процессы, приведшие к дифференциации Земли на оболочки.

Основные массы продуктов дегазации, пишет А. Виноградов, «были выброшены в начале геологической истории Земли» (Виноградов, 1959). Он считает единственно научно правильным рассматривать образование океана, его ложа, водной и солевой массы как единый геологический процесс. Поскольку в начале истории планеты процессы дегазации мантии были наиболее интенсивны, «главная масса воды была дегазирована в течение первых сотен, может быть, тысячи миллионов лет» (Виноградов, 1967а, стр. 19; 1967б).

Поступление газов из недр Земли происходило благодаря действию тысяч вулканов, интрузивной деятельности и излияниям лавы. Механизм дегазации воды представляется А. П. Виноградовым аналогично механизму зонной плавки<sup>2</sup> в следующем виде: «При разогревании вещества мантии... происходит выплавление легкоплавкой фракции силикатов.  $\text{H}_2\text{O}$ , как и другие легколетучие соединения... находящиеся в веществе мантии, распределяются при этом между твердой фазой и легкоплавкой фазой, преимущественно в последней. Легкоплавкая фаза вещества в закрытой системе под действием гравитационной силы оттесняется к периферии Земли, увлекая за собой  $\text{H}_2\text{O}$  и другие летучие вещества, растворенные в ней. По мере приближения к поверхности Земли легкоплавкая фракция вещества мантии продолжает обогащаться  $\text{H}_2\text{O}$  и другими летучими продуктами. В земной коре происходит охлаждение расплава и кристаллизация его при некоторой повышенной температуре. В конце концов надкритическое состояние снимается, и вода появляется в виде пара» (Виноградов, 1959, стр. 8).

Н. М. Страхов (1962) также считает, что образование океана началось на самой ранней стадии геологической истории, 5— $4,5 \cdot 10^9$  лет назад. В период, когда Земля, возможно, претерпела наибольший радиогенный разогрев (свыше  $100^\circ\text{C}$ ), она образовала небольшую и неплотную атмосферу с преобладанием в ней паров воды. Когда по остыванию Земли температура газовой смеси стала менее  $100^\circ$ , вода выпала из атмосферы вместе с растворимыми в ней кислыми дымами  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{B}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ . Сначала воды было мало и океан был очень кислым. В дальнейшем происходило

<sup>1</sup> Не касаясь истории вопроса о радиоактивности — основном факторе геологических процессов, отметим, что еще до открытия радиоактивных элементов гипотеза центрального остаточного огня, вызывающего деформации земной коры, отвергалась некоторыми учеными. Так, Ляйель писал: «Вместо первоначальной центральной теплоты мы можем приписать внутренний жар химическим изменениям, постоянно совершающимся на земной коре» (Ляйель, I, 1866, стр. 232). Австрийский ученый О. Фольгер, отрицавший существование центрального огня, теплоту земной коры объяснял трением горных пород, вызываемым мощными подземными потоками воды (см. Росмэслер, 1862, стр. 420).

<sup>2</sup> Процесс зонной плавки в опытах с метеоритами, по описанию А. П. Виноградова, состоит в следующем. Берется цилиндр из каменного метеорита и проплавляется в узкой зоне (около 0,5 см) с передвижением нагревателя в одну сторону со скоростью 1 см в час. Происходит выплавление и дегазация вещества метеорита с разделением на тугоплавкую и легкоплавкую фазы. С последней выносятся вверх летучие и более легкоплавкие, хотя и тяжелые элементы — уран, торий и другие, чем и объясняется накопление первых на поверхности Земли, а вторых в ее коре.

постепенное пополнение гидросферы водой за счет вулканических извержений. Химический состав океана изменялся на хлоридный, а затем хлоридно-карбонатный в результате взаимодействия кислой воды с силикатными породами ложа океана, а в более позднее время — вследствие выноса в океан карбонатов K, Na, Ca, Mg, Mn и солей SiO<sub>2</sub> и Al, образовавшихся благодаря выветриванию пород под воздействием атмосферного CO<sub>2</sub>; нейтрализуясь от сильных кислот, H<sup>+</sup> превращался в воду.

Последние резкие изменения состава океана и атмосферы А. П. Виноградов относит ко времени 3·10<sup>9</sup>—2·10<sup>9</sup> лет назад, когда температурные условия на поверхности Земли приближались к современным и когда появился фотосинтетический кислород и первые древние растения и другие организмы.

Ко времени около 2,5·10<sup>9</sup> лет назад, когда произошло расчленение земной коры на относительно устойчивые платформенные и геосинклинальные области, относится возникновение эпейрогенических континентальных морей, благодаря чему испарение с водных бассейнов значительно увеличилось и положило начало регулярному большому круговороту воды на земном шаре.

А. П. Виноградов замечает, что дегазация недр Земли не была равномерной и подчиняется общему тектоническому ритму Земли. В соответствии с этим можно, как пишет А. Б. Ронов, предположить, что на рубеже позднего архея — раннего протерозоя (т. е. 2,6·10<sup>9</sup> лет назад), «в период наиболее интенсивной гранитизации в истории Земли объем гидросферы значительно увеличился в результате выноса в земную кору огромных масс ювенильных вод» (Ронов, 1964) и что, вероятно, вторая половина мезозоя была временем нового заметного увеличения объема гидросферы.

Касаясь начального этапа дифференциации вещества Земли, К. П. Флоренский высказал гипотезу о том, что магматическим процессам, начавшимся вследствие радиогенного разогрева Земли, достигшей нынешнего ее размера, предшествовал период кратковременных точечных, но неоднократных плавлений падавших на поверхность Земли метеоритов различных размеров, из которых шло образование земного шара. К. П. Флоренский показывает, что такой процесс мог начаться, когда тело Земли составило примерно 0,01 современной ее массы.

Заметного перегрева поверхности Земли при этом не было вследствие переизлучения тепла в окружающее пространство. «Неизбежная дегазация метеорных тел с разогревом при ударе должна была привести, — говорит К. П. Флоренский, — к образованию атмосферы и гидросферы еще во время агломеративного роста планеты, по мере выпадения новых частиц» (Флоренский, 1965).

Укажем еще на своеобразный взгляд Б. Л. Личкова по поводу генезиса воды на ранней стадии истории планеты. Отводя радиоактивному теплу лишь второстепенную роль, он образование свободной воды на Земле рассматривал как результат преобразования по мере увеличения массы угловатого по своей форме астероида в округлое планетарное тело. Если в астероиде преобладающее значение имели силы молекулярного сцепления, то с его перестройкой в планету стали преобладать гравитационные силы, которые и высвободили большие количества воды из их физической и химической связи с твердым веществом (Личков, 1960, стр. 76).

П. Н. Кропоткин считает, что в архейскую эру образовалось примерно 90% объема гидросферы (Кропоткин, 1964, стр. 19) и только, следовательно, 10% — в последующие геологические эпохи. Голландский геолог Ф. Куэнен полагает, что с начала кембрийского периода, т. е. примерно за 500 млн. лет, в Мировой океан выделилось всего 2—3% его объема (Куэнен, 1955, стр. 305), хотя, замечает он, последствия этого небольшого увеличения объема океана имели исключительно важное значение

для жизни на Земле, поскольку без этих 2—3% уровень океана был бы на 400 футов ниже, чем он есть теперь.

По мнению советского геофизика В. А. Магницкого, поскольку «вода выделяется преимущественно при образовании гранитов и они в большинстве возникли в докембрии», «нельзя согласиться с тем, что сравнительно небольшие по объему магматические массы послепалеозойского возраста принесли с собой огромную, преобладающую часть воды» (Магницкий, 1958).

Образование на ранней стадии развития планеты основного объема гидросферы признается В. Е. Хаиным. Он полагает, что к концу раннего докембрия (2,5 млрд. лет назад) объем гидросферы был не менее 55% современного, а может быть, составлял и 70% (Хаин, 1971, стр. 32).

По мнению Ф. А. Макаренко, объем вод океана достиг современного размера уже к началу кембрийского периода (Макаренко, 1969, стр. 24), а по мнению А. Е. Криволицкого — к началу мезозойской эры (Криволицкий, 1971, стр. 68).

Японские ученые М. Исибаси и И. Харада, определившие возраст океанских вод по содержанию в них радия, нашли, что он равен 3,24 млрд. лет (см. Цуриков, стр. 34).

Очевидно, вместе с выделением на земную поверхность огромных масс воды должен был идти и сопряженный процесс образования вместилищ воды.

Взгляд о раннем образовании водной массы Земли, естественно, влечет за собой признание также раннего формирования океанических впадин.

Ф. Ю. Левинсон-Лессинг считал несомненным, что «с первых же моментов образования постоянной твердой коры она дифференцировалась на депрессионные (океанические) и возвышенные (материковые) области (Левинсон-Лессинг, 1893). О глубоких впадинах юной планеты писал А. П. Павлов.

Большинство современных ученых разделяют взгляд, что океаны возникли в далекие геологические времена, причем многие считают, что наиболее древний из них Тихий океан, по-видимому, представляет собой первичную впадину Земли.

А. Полдерварт пишет, что маловероятно, чтобы все океаны образовались одновременно, но все они возникли в раннем докембрии (Полдерварт, 1957, стр. 153). Сторонником взгляда о древнем образовании океанов с их водной массой является и известный океанолог Л. А. Зенкевич. Основываясь, в частности, на данных о составе докембрийской морской фауны, он приходит к выводу, что «в основных своих физико-географических и химических особенностях Мировой океан сформировался за миллиарды лет до кембрия» (Зенкевич, 1966; Безруков, 1973). Ю. М. Пушаровский говорит, что геохимические, гидрохимические, биологические и палеонтологические данные согласно указывают на большую древность океанов (Пушаровский, 1970). Древнее первичное происхождение Тихого океана признается и теми учеными, которые другие океаны склонны считать сравнительно молодыми, возникшими в результате преобразования материковой земной коры в океаническую (Муратов, 1971, и др.). Согласно В. Е. Хаину, все океаны следует считать новообразованными; не первичен и Тихий океан, но его образование относится к наиболее ранней фазе океанизации, имевшей место, скорее всего, в среднем или позднем протерозое (Хаин, 1971).

Вместе с тем рядом ученых отстаивается взгляд, что все океаны, включая и Тихий, — вторичные образования и возникли лишь в конце палеозоя — начале мезозоя, когда покрывавшая весь земной шар материковая кора различной толщины подверглась в местах, где ныне находятся океаны, коренному преобразованию (базификации) в результате внедрения в нее расплавленного мантийного материала. В. В. Белоусов, наибо-

лее полно развивший эту гипотезу, считает, что при таком процессе из пород материковой коры выделилось 6% воды по весу, которая и составила подавляющую часть водной массы океанов (Белоусов, 1967)<sup>1</sup>.

Таким образом, одни ученые считают, что водная масса планеты, сосредоточенная в Мировом океане, в основном образовалась на ранней стадии истории Земли, когда генерация радиогенного тепла была выше нынешней в несколько раз; другие образование гидросферы относят к более поздним периодам. Но приведем еще мнение В. Руби. Он полагает, что процесс дегазации, «вероятно, должен был протекать с более или менее постоянной скоростью в течение всего геологического времени» (Руби, 1957).

Следовательно, признание того, что гидросфера образовалась в результате выделения воды из очагов расплава мантии, не означает, однако, единодушия в вопросе о длительности этого процесса и его интенсивности в различные периоды истории Земли, был ли он и остается равномерным или, затухая, сошел почти на нет по крайней мере сотни миллионов лет назад.

Известно, однако, что и в настоящее время при вулканических извержениях на поверхность выбрасываются большие массы водяных паров. Еще в 1847 г. французским геологом Эли де Бомоном (1798—1874 гг.) была высказана идея выделения воды из магмы. Затем она была развита его соотечественником Шарлем Сент-Клер Девилем (1814—1876 гг.), который дал в 1856 г. классификацию газовых выделений вулканов.

Но, как говорит В. И. Вернадский, идея о связи вод биосферы и глубинных вод вошла в научное сознание лишь в конце XIX в. благодаря известному австрийскому геологу Э. Зюссу (1831—1914 гг.). В 1892 г. он указал на то, что из глубины планеты в биосферу через минеральные источники и вулканы постоянно поступают новые воды, которые он назвал «ювенильными», т. е. девственными, впервые вступающими в круговорот, смешиваясь с водами «вадозными» (блуждающими). Изучая в 1900—1902 гг. горячие источники Богемии, он пришел к заключению, что большинство из них, в том числе, например, и знаменитый карлсбадский источник Шпрудель, имеющий постоянную температуру и химический состав, происходят из магмы. Позднее, в 1909 г., Зюсс изменил свою гипотезу, предположив, что из магмы на поверхность поступает не водяной пар, а «ювенильный» водород, который образует воду, соединяясь с кислородом воздуха. Но этим не менялся основное положение, что термальные источники не зависят от поверхностных вод.

Идею взаимосвязи поверхностной и магматической воды рассматривал А. П. Павлов. В работе «Вулканы на Земле и вулканические явления во Вселенной», опубликованной в 1899 г., А. П. Павлов писал: «Вообще можно сказать, что пары воды играют самую существенную роль между газообразными продуктами, которые извергаются вулканами» (Павлов, стр. 43). На вопрос о происхождении этих газообразных веществ можно, говорит Павлов, ответить двояко. Можно предположить, что морская вода проникает к магме, превращается там в пар и поглощается ею; такая способность магмы вполне подтверждается опытами. Это предположение расходится с мнением Зюсса о независимости горячих источников и вулканических паров от вод биосферы. Другой ответ состоит в том, что насыщение лавы (магмы) газами и парами воды произошло еще тогда, когда расплавленная поверхность планеты была окружена тяжелой атмосферой, содержавшей в огромном количестве водяные пары. Но, очевидно, второе объяснение источника паров воды в магме, как уже говорилось,

<sup>1</sup> Мы привели лишь самые краткие сведения, касающиеся истории взглядов о происхождении океанов, и при этом вовсе оставили в стороне вопрос о том, как под действием внутренних сил Земли и внешних воздействий на нее менялись географическое положение океанов, их размеры и очертания (в том числе и Тихого океана), их глубины.

не согласуется с имеющимися геохимическими данными (содержание воды в магме должно было бы быть гораздо больше, чем есть на самом деле).

Гипотеза Зюсса о ювенильной воде с самого начала имела как сторонников, так и противников. Проблема изучалась рядом исследователей вулканов и термальных источников. Единого взгляда на происхождение термальных вод достигнуто не было. Так, если А. Е. Ферсман писал в 1914 г., что «снова восторжествовали идеи Зюсса, так красиво объединяющие нашу дневную поверхность с внутренним ядром, которое, медленно замирая, посылает поверхности свои горячие воды, горячие дыхания глубин» (Ферсман, 1914), то немецкий геолог Г. Геффер утверждал, что ювенильна не сама горячая вода, а ювенильна лишь теплота, нагревающая подземные воды (Геффер, стр. 198).

Заметим, что еще немецкий геолог Б. Котта считал, что горячие источники, как и всякие источники вообще, питаются проникающей на большие глубины атмосферной водой. «Все другие теории, составленные часто с большим искусством и остроумием, — писал он, — оказались ни на чем не основанною игрою воображения» (Котта, 1859, стр. 198).

В. И. Вернадский считал, что вода источников и вулканов «в значительной степени атмосферного происхождения» (Вернадский, I, стр. 110). В «Истории природных вод» он писал, что, во-первых, «ювенильная вода идет из пределов земной коры — не из глубины планеты, а из верхней ее области, к которой принадлежит и биосфера» (Вернадский, IV, 1960, 2, стр. 186), и, во-вторых, мы не можем пока отделить в горячих источниках и вулканических извержениях эту воду от той, которая уже была в круговороте. А. П. Виноградов считает, что пай ювенильной воды составляет только несколько процентов от общей массы воды, выбрасываемой ныне вулканами.

Но как велико количество воды, ежегодно поступающей в гидросферу через вулканы и другими путями?

По приблизительному подсчету Ф. Куэнена, в настоящее время в результате вулканической деятельности на поверхность Земли выделяется только около  $1/10 \text{ км}^3$  воды в год (Куенен, 1955, стр. 302). Такая же величина получена Е. К. Мархиным (1964). Оценивая данные об извержениях вулканов на островных дугах и родственных им структурах за последние (с 1800 г.) 163 года, автор получает  $3,1 \cdot 10^9 \text{ т}$  ежегодно выбрасывавшегося за этот период вулканами только пирокластического материала. Если принять, что летучие, главным образом вода, в вулканических извержениях составляют хотя бы только около трех весовых процентов (вспомним, что И. Д. Лукашевич принимал весовой процент воды в смолистых камнях — продуктах быстрого остывания магмы — равным 4,66), то получится, что в настоящее время вулканы выбрасывают на поверхность Земли около  $0,09 \text{ км}^3$  воды в год. Е. К. Мархинин считает, что за всю геологическую историю ( $4,5 \cdot 10^9$  лет) на долю вулканических извержений приходится половина воды гидросферы, другая же половина была сброшена магмой на глубине. В. Ф. Дерпгольц замечает, что процесс высвобождения воды из подкорковых недр Земли и в настоящее время происходит не только путем вулканических извержений, но, вероятно, «непрерывно на всей океанической и материковой площади Земли» (Дерпгольц, 1962а), причем в этом процессе, по-видимому, диффузия атомов, ионов и молекул преобладает над фильтрацией растворов и газов снизу вверх.

В. Руби, являющийся, как уже сказано, сторонником мнения о накоплении океанической воды равномерно в течение всего геологического времени, приводит расчет, показывающий, что только через горячие источники могло выделиться количество воды, достаточное для образования океана. Основывая свой расчет на данных о гидротермальных источниках западной части США (1/3 территории страны), Руби находит, что горячие источники всех континентов дают  $42 \cdot 10^{15} \text{ г}$  воды в год. Количе-



ство воды, поставляемой источниками на дно океанов, принимается равным примерно половине указанного количества, а вся масса воды, ежегодно добавляемой в океан, оценивается в  $66 \cdot 10^{15}$  г, или  $66 \text{ км}^3$ . Принимая возраст Земли в  $3 \cdot 10^9$  лет, Руби получает  $2 \cdot 10^{26}$  г воды, выделившейся за геологическую историю через горячие источники. Указанный выше «избыток» воды в  $1,66 \cdot 10^{24}$  г составляет от  $2 \cdot 10^{26}$  г 0,8%, т. е. то весовое содержание ювенильной воды в горячих источниках, которое дают подсчеты разными методами.

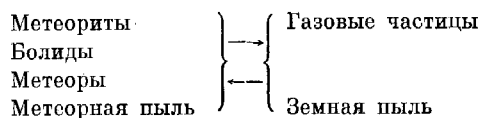
Приведенные данные о ежегодном количестве ювенильной воды, поступающей в современную эпоху на поверхность Земли через вулканы ( $0,1 \text{ км}^3$ ) и термальные источники (0,8% от  $66 \text{ км}^3$ ), в сумме составляют  $0,63 \text{ км}^3$ . По оценке Ф. А. Макаренко, объем указанной воды равняется примерно  $1 \text{ км}^3$  (Макаренко, 1948). Тот факт, пишет Ф. А. Макаренко (1969, стр. 21), что объем вод открытого океана по крайней мере с начала кембрийского периода заметно не изменился, можно объяснить тем, что новые порции воды поглощаются разрастающимися толщами земной коры (мысль, высказанная еще С. Менье, см. стр. 135).

Какие еще могут быть названы источники пополнения воды на земном шаре? Выше говорилось, что еще в процессе формирования Земли, когда масса ее достигла 0,01 современной величины, могло начаться образование гидросферы благодаря дегазации падавшего на поверхность Земли бесчисленного количества метеоритов. Конечно, метеоритное облако, послужившее источником материала для прото-Земли, было исчерпано миллиарды лет назад. Однако выпадение на поверхность Земли метеоритов, являющихся уже не остатками того облака, а продуктами разрушения астероидных тел солнечной системы, продолжается и в настоящее время. Что касается количественных оценок массы падающих на Землю метеоритов, то они сильно расходятся. Так, по одной из первых оценок количество выпадающего на Землю внеземного вещества определялось в 5—7 тыс. т в год, т. е. в 15—20 т в сутки (Chamberlin and Salisbury, 1905 г., стр. 364). В «Основах метеоритики» Е. Л. Кринова (1955) приводятся такие данные: каждые сутки на земную поверхность выпадает метеорного вещества согласно Ф. Ватсону 5,5 т, согласно С. В. Орлову 6,6 т (стр. 137). Б. Мэйсон в монографии «Метеориты» (1965) пишет: «Количество внеземного вещества, поступающего на Землю в течение года, по разным оценкам колеблется от нескольких тысяч до нескольких миллионов тонн» (стр. 13); при этом он имеет в виду подсчет Х. Петерсона (1960 г.) — 5 млн. т и подсчет П. Ходжа и Р. Уайльдта — 0,5 млн. т. Б. И. Вронский приводит данные ряда авторов, оценки которых лежат в пределах от 1500 т (Вили, 1935) до 13 млн. т (Кросье, 1955 г.) в год (Вронский, 1964). А. П. Виноградов называет и еще более высокие пределы оценок, причем на три порядка различающиеся между собой:  $1 \cdot 10^6$ — $1 \cdot 10^9$  (?) т в год (Развитие наук о Земле в СССР, 1967 г., стр. 74). Если произвести расчет исходя из цифры 38 тыс. т вещества, выпадающего на Землю в сутки, также называемой Петерсоном, и считая, что вода в метеоритах составляет 0,5% по весу, то найдем, что за время существования Земли на ее поверхность могло поступить с метеоритным веществом количество воды, определяемое слоем 0,6 м. Что касается содержания воды в метеоритах, то результаты анализов, помещенные в работе Б. Мэйсона, показывают следующие количества связанной воды в пяти группах хондритов (в вес. %):

Группы	1	2	3	4	5
H <sub>2</sub> O	0,34	0,21	0,27	0,10	12,56

Наконец, скажем о том, что, как полагал В. И. Вернадский, возможно, никакого увеличения массы Земли за счет космического вещества вообще не происходит. Он считал, что между Землей и космосом

существует подвижное материальное равновесие по схеме:



Однако, как пишет Б. И. Вронский, есть основания считать, что на высотах 50—60 км частицы земного происхождения практически отсутствуют, т. е. баланс пыли имеет для Земли положительный знак.

Что касается возможного увеличения воды на Земле за счет образования ее в верхних слоях ионосферы, теперь благодаря исследованиям, проведенным в высоких слоях атмосферы с помощью искусственных спутников Земли, определенно установлено, что на высоте 230—250 км имеются атомы кислорода и водорода, доставляемого сюда в результате мощных солнечных извержений вещества, и не исключена возможность образования здесь новых молекул воды. По поводу этого источника «ювенильной» воды на Земле В. Ф. Дерпгольц замечает, что «в аспекте геологического времени он должен быть ощутимым» (Дерпгольц, 1962). В то же время Ф. Куэнен считает, что «синтез воды из ее элементов не может быть, почти буквально, более, чем капля в океане» (Куэнен, 1955, стр. VII).

В заключение кратко очерка развития представлений о происхождении воды на Земле можно сказать, что имеющиеся геохимические и другие данные лучшим образом согласуются с гипотезой «холодного» образования Земли и накопления всей массы воды в течение длительного геологического времени в результате выхода ее из очагов магматического расплава. Принятием гипотезы огненно-жидкого состояния вещества первоначальной Земли также не отрицается образование большей части массы гидросферы за счет дегазации ее из магмы. Что касается вопроса о том, как, по какому закону происходило развитие гидросферы — шло ли оно равномерно в течение всего геологического времени и продолжается в том же темпе и ныне, или образование почти всей водной массы на поверхности Земли закончилось, возможно, еще в докембрии, — то этот вопрос остается дискуссионным. Выяснение его, говорит В. Руби, может стать возможным только после решения многих других проблем истории и строения Земли. Но, по-видимому, большинство исследователей разделяют мнение В. И. Вернадского, что основная масса воды на Земле образовалась на ранней стадии ее развития. В «Истории природных вод» он писал, что «с самых древних геологических отложений, с архейской эры, не только в общем состав и формы нахождения воды должны были быть аналогичны современным, но и ее количество должно было быть тем же или близким... Сохранение неизменным в геологическом времени парагенезиса, т. е. минеральных ассоциаций, доказывает с большой точностью неизменность количества воды в биосфере в течение этого времени» (Вернадский, IV, 2, стр. 26). При этом В. И. Вернадский замечал, что речь идет о неизменности средней величины, о динамическом равновесии, при котором возможны колебания в ту и другую сторону.

## БАЛАНС ВОДЫ НА ЗЕМЛЕ В ХОДЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ

Вопрос о том, изменяется ли количество воды на Земле в течение времени, уже в древности имел как сторонников о постоянстве массы воды, так и сторонников мнения об уменьшении ее количества на нашей планете. Мнение о прогрессирующем увлажнении Земли стало высказываться позже, с XIX в.

Как уже отмечалось, Демокрит считал конечным уделом Земли ее полное иссушение. Аристотель, высмеивая это мнение, говорил лишь об из-

менениях в соотношении океана и суши. «Распределение моря и суши в некоторых странах,— писал он в «Метеорологии»,— не всегда остается одинаково. Часто моря являются там, где была суша, и снова является суша, где было море; и есть повод думать, что такие изменения совершаются по известным законам и в известный период времени» (см. Ляйель, I, 1866, стр. 15). Уменьшения воды на Земле он не допускал.

О колебании уровня моря говорил и Страбон. Но он, как и задолго до него Геродот, а немного позже Плиний Старший, считал, что количество воды в реках уменьшается.

В новое время мысль о возможном полном иссушении Земли была высказана И. Кантом. В работе, относящейся к 1754 г., он писал, что в результате постоянно идущих медленных процессов сглаживания поверхности Земли наступит время, когда все неровности на ней исчезнут, а вода поглотится в физических и химических соединениях с породами. В «Физической географии» (1803 г.) Кант утверждал, что «каждый может легко убедиться в том, что озера, реки убывли и продолжают убывать ежедневно» (см. Келлер, 1965, стр. 14). Однако, что касается характера развития земной коры, то по этому поводу Кант высказывал и другое, противоположное мнение. «Значительные части обитаемой нами суши,— писал он в своей «Истории и теории неба»,— будут опять погребены в море, из которого они вышли в благоприятное время; но в других местах природа восполняет недостаток и вызывает наружу другие местности, скрытые в глубинах, чтобы распространить на них новые богатства своего плодородия» (Кант, 1923).

Вопрос об изменениях в количестве воды на Земле был обстоятельно рассмотрен Л. С. Бергом в работе «Об изменении климата в историческую эпоху», опубликованной впервые в 1911 г., а затем в переработанном виде в книге «Климат и жизнь», второе издание которой относится к 1947 г.

Среди многочисленных сторонников теории усыхания Земли им названы П. А. Кропоткин, А. Гумбольдт, Б. Бленфорд, Дж. Уитни, Т. Фишер, М. И. Венюков, И. В. Мухометов, Г. Е. Грумм-Гржимайло, В. Гетц, С. Пассарге, Э. Хентингтон. Но столь же обширен и список противников этой теории, включающий таких крупных русских ученых, как К. С. Веселовский, В. В. Докучаев, С. Н. Никитин, А. И. Воейков, Н. А. Соколов, Г. И. Танфильев, В. В. Бартольд, Е. В. Опников, а из иностранных — Э. Бриквер, И. Партч, Д. Эгинитис, И. Вальтер, В. Эккард, Н. Экгольм, Г. Лейтер, Ф. Ольк, А. Филиппсон, А. Пенк, Дж. Грегори и др. По поводу Гумбольдта следует, однако, заметить, что если он допускал возможность уменьшения воды «в эпоху прежней, более возвышенной температуры земной поверхности, при большем количестве расселин в этой последней, поглощавших воду», то об уровне моря в нашу эпоху он писал: «...не имеется никаких доказательств в пользу действительного, продолжающегося приращения или убавления моря» (Гумбольдт, I, стр. 270).

Если одни из сторонников теории иссушения говорили об этом процессе лишь как о характерном направлении развития климата в нашу, последнюю ледниковую эпоху, то другие (Кант в их числе, как уже сказано) считали, что количество влаги уменьшается и в атмосфере, и в земной коре в течение всей геологической истории Земли.

Уитни мнение об уменьшении влаги в атмосфере, о затухании круговорота воды основывал (1882 г.) на том, что: 1) площадь материков все время увеличивается, а площадь океанов — испарителей влаги — уменьшается и 2) Солнце, охлаждаясь, посылает все меньше и меньше тепла, ввиду чего температура поверхности Земли должна падать, а испарение должно уменьшаться. Л. С. Берг, опираясь на современные данные, убедительно показал несостоятельность мнения Уитни.

О поглощении, «выпивании» воды все утолщающейся земной корой писал в 1896 г. французский геолог С. Менье. Он утверждал, что «чем ста-

рее станет Земля, тем более океан сузит свои пределы, а атмосфера уменьшится в толщине» (Менье, 1896, стр. 121).

Л. С. Берг рассмотрел вопрос и о связывании воды в процессах гидратации, на что, в частности, указывал и В. Гетц (1889 г.). Такое связывание действительно происходит. Некоторые соединения заключают в себе громадные количества воды; например, в соде ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) воды 64,2%. Но на поверхности Земли и в ее недрах имеет место и другой процесс — процесс дегидратации. Эти процессы количественно уравнивают друг друга, и, как считал В. И. Вернадский, «количество воды, вступающее в соединения, всегда компенсируется той же массой, которая освобождается в другой части кругового процесса в свободном состоянии...» (Вернадский, I, 1954, стр. 109).

В разделе о происхождении воды на Земле по поводу источников ее пополнения говорилось, что ими являются водяные пары вулканических извержений и горячие источники, содержащие какую-то долю ювенильной воды, выпадающее на Землю метеоритное вещество, возможно, синтез молекул воды в высоких слоях атмосферы. Указывалось, что количества воды, поступающей из этих источников, незначительны. Но каковы возможные пути убыли воды на нашей планете?

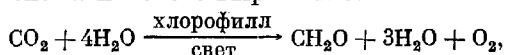
Если убыль жидкой воды вследствие гидратации отрицается, поскольку происходит и дегидратация, то, может быть, происходят потери воды в результате диссоциации ее молекул под действием ультрафиолетового излучения в верхних слоях атмосферы и улетучивания водорода из атмосферы Земли? Такие потери возможны, но каковы они количественно, в настоящее время определенно неизвестно.

В. И. Вернадский писал в 1932 г. в статье «Океанография и геохимия», что хотя водород найден в земной атмосфере как «ничтожный, но постоянный ее спутник», живая материя содержит не только организмы, выделяющие свободный водород из его соединений, но и организмы, «употребляющие его на постройку живых тканей и не допускающие, таким образом, ухода его с земной поверхности» (Вернадский, V, 1960, стр. 350). Дж. Койпер считает, что «потеря водяного пара при помощи фотолиза была мала в течение всех геологических периодов» (Койпер, 1961, стр. 28). Э. Буллард, говоря о возможности того, что вода постепенно высвобождается из внутренних частей Земли и моря все время растут или что вода диссоциирует на водород и кислород в верхней атмосфере и водород улетучивается, ввиду чего моря усыхают, приходит к заключению, что «эти процессы либо не происходят, либо уравниваются друг друга» (Буллард, 1971, стр. 29). Он считает очевидным и примечательным фактом «постоянство общего объема воды в продолжение долгих веков».

Что касается попыток подсчета потерь воды в результате ее фотодиссоциации, то они дают весьма различающиеся цифры. Как указывалось, согласно Дж. Кальпу (Kulp, 1951), за время существования Земли из нее улетучилось в космос количество воды, составляющее слой 2000 м на всю поверхность планеты. Эта огромная цифра называется Кальпом без какого-либо обоснования. Дж. Койпер (1952 г.) пришел к заключению, что на каждом квадратном сантиметре подвергается разложению около  $7,7 \cdot 10^{16}$  молей  $\text{H}_2\text{O}$ . Для времени, скажем, в  $4 \cdot 10^9$  лет потеря воды составит, следовательно, всего около 1 м (см. Руби, 1957, стр. 663). Г. Юри, исходя из того, что улетучивание водорода в настоящее время составляет  $10^7$  атомов на  $1 \text{ см}^2$  в секунду, находит, что за  $4,5 \cdot 10^9$  лет потеря воды равна всего 20 см с  $1 \text{ см}^2$  (Юри, 1959, стр. 22). Число  $10^7$  атомов он, однако, считает, возможно, на один порядок неточным и, кроме того, полагает, что в некоторые геологические периоды потеря водорода была более значительной, поскольку для окисления ряда находящихся в земной коре элементов необходимо было разложение около 10% нынешней массы воды в океанах.

По расчету, произведенному в 1959 г. Э. К. Бютнер, исходя из скорости диссипации водорода, равной приблизительно  $10^9 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ , Земля за  $4 \cdot 10^9$  лет своей жизни вследствие фотодиссоциации лишилась массы воды, эквивалентной 20-метровому слою (Бютнер, 1959). Более высокую скорость диссипации водорода, а именно  $10^{11} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ , называет А. Д. Данилов (1967). При такой скорости потеря воды Землей за  $4 \cdot 10^9$  лет составляет 2000 м, т. е. как и в подсчете Кальша.

Большое внимание вопросу о потерях воды Землей уделено в монографии А. М. Алпатьева (1969). Приведя многочисленные сведения, касающиеся этой проблемы, он заключает, что «количественная оценка процесса диссипации водорода в космическое пространство пока ненадежна», что «расходная статья общепланетарного баланса воды остается неизвестной, несмотря на общее признание процесса диссипации» (Алпатьев, 1969, стр. 51). А. М. Алпатьев показал большое значение фотосинтеза в круговороте воды в природе, поскольку при фотосинтезе, как это видно из его схематического выражения



происходит разложение одной из четырех молекул воды с выделением в атмосферу кислорода (но не водорода).

Цель А. М. Алпатьева, как он пишет, — привлечь внимание к важной для человечества проблеме взаимобмена водой между Землей и космосом и «выйти за пределы «круговорота воды», не существующего в природе» (1969, стр. 298). Он считает неправильным применять выражение «круговорот воды», поскольку его применение подразумевает постоянство массы воды на Земле, а это противоречит концепции развития в природе<sup>1</sup>. Идея В. И. Вернадского о неизменности количества воды на нашей планете «должна быть признана несостоятельной», пишет А. М. Алпатьев (1969, стр. 65). В числе разделяющих идею неизменности массы воды в течение геологического времени А. М. Алпатьев почему-то называет только автора этих строк. Но мы можем назвать и других авторов (кроме уже названных).

Ж. Кювье, касаясь мнения об уменьшении массы морской воды, на основании данных о колебании уровня Балтийского и Средиземного морей высказал убеждение, что «средний уровень постоянен: нет ни общего понижения, ни общего поднятия» (Кювье, 1937, стр. 95). Такого же мнения держался русский географ Э. Ленц, писавший, что «уровень Океана во все времена и во всех местах один и тот же» (Ленц, 1851, стр. 55).

Э. Зюсс, автор теории обогащения гидросферы ювенильной водой, в «Заметках по истории океанов» (1896) присоединился к мнению, что количество воды на нашей планете остается почти неизменным.

Э. Брикнер (1905) при определении баланса круговорота воды на Земле исходил из положения о постоянстве ее количества (см. здесь, стр. 169).

Ф. Куэнен, касаясь баланса воды на Земле, приходит к заключению: «Нет... никаких потерь воды из Земли. Напротив, почти несомненно, что имеется некоторое выделение ее на поверхность» (Kuennen, 1955, стр. 301).

Не оставляет никаких сомнений насчет признания неизменности массы воды на планете А. П. Виноградов, утверждающий, что «уровень океана с палеозоя, по крайней мере, можно считать практически постоянным» (Виноградов, 1967, стр. 19).

<sup>1</sup> В связи с вопросом о правомерности употребления выражения «круговорот воды» не лишне привести здесь высказывание В. Р. Вильямса, в котором он в подобном случае применяет термин «круговорот». «Единственный способ, — пишет Вильямс, — придать ограниченному количеству (минеральных элементов, необходимых для осуществления функций жизни. — И. Ф.) свойство бесконечного — это заставить его вращаться по замкнутому кругу» (Вильямс, 1952, стр. 11).

Диалектика, как известно, была не чужда этому ученому.

В. Д. Быков и Г. П. Калинин (1968) считают, что «общий баланс свободной воды на Земле в пределах не только исторической эпохи, но начиная с архейской эры можно считать постоянным». По мнению А. Е. Криволицкого (1971), объем водной массы на Земле остается почти неизменным с начала мезозойской эры. Наконец, и у самого А. М. Алпатьева мы читаем, что «на современной стадии развития природы Земли нет доказанных симптомов уменьшения массы воды гидросферы» (Алпатьев, 1969, стр. 140).

Противоречит ли положение об установившемся на Земле сотни миллионов лет назад относительно постоянстве или, как писал В. И. Вернадский, динамическом равновесии водной массы общей концепции развития в природе? Очевидно, нет, как не противоречит ей существование многих других констант земной природы. Поэтому, как мы полагаем, нет оснований считать несостоятельным разделяемое и многими современными исследователями утверждение В. И. Вернадского, что «масса воды есть характерная постоянная нашей планеты» (Вернадский, I, стр. 110) и что «в земной коре масса водных растворов и водных паров — масса воды — является не только постоянной, геологически вечной, но она является единым связанным целым» (там же, стр. 111).

## КРУГОВОРОТ ВОДЫ НА ЗЕМЛЕ

## ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НАТУРАЛИСТОВ ДРЕВНОСТИ

При той ограниченности сведений о природных явлениях, об их связи и взаимозависимости, которыми располагали натуралисты древних веков, были возможны и действительно имели место как близкие к действительности высказывания, касающиеся гидрометеорологических вопросов, так и совершенно далекие от нее, фантастические представления. Так, согласно одному из заблуждений, считалось, что небесные светила образуются и питаются влажными испарениями Земли и благодаря им находятся на определенных расстояниях от земного шара. Хотя эту мысль высмеял еще Аристотель, ее разделяли, например, Страбон (ок. 63 г. до н. э. — 20 г. н. э.) и Сенека (6—3 г. до н. э. — 65 г. н. э.). Первый писал, что «чем большая масса воды будет разливаться вокруг Земли, тем лучше небесные тела будут сдерживаться морскими испарениями» (Страбон, 1964, стр. 11).

И все же именно выдающимся древнегреческим натурфилософам принадлежат наиболее ранние высказывания по вопросам круговорота воды, содержащие в себе зерна истины. Исследователи их творчества согласованно называют родоначальника атомистического учения Демокрита первым, кто в своих представлениях об испарении, дождях, разливах Нила приблизился к правильному пониманию этих явлений. По поводу разливов Нила Демокрит утверждал: «Когда снег, лежащий на севере, вследствие наступления лета тает и превращается в воду, то из сгущения испарений образуются облака. Когда же последние сгоняются на юг и (приносятся) в Египет пассатными ветрами, (там) происходят проливные дожди, от которых разливаются озера и река Нил» (Маковельский, 1946, стр. 258). Хотя здесь неверно, что северные ветры приносят влагу в бассейн Нила, правильна сама мысль о связи разливов Нила с метеорологическими явлениями. Как замечает Даннеман, «ясное учение Демокрита о круговороте воды легло в основу представлений Аристотеля» (Даннеман, I, 1932, стр. 128).

Но теории Аристотеля предшествовали представления о круговороте воды на Земле его учителя Платона, которым он не последовал. Воззрения Платона на круговорот воды целиком основывались на гипотезе о существовании в земных недрах многочисленных пещер, каналов и жил — гипотезе, которая, несомненно, берет свое начало от еще более ранних представлений о Земле, плавающей в океане, и перекликается со взглядом Фалеса, согласно которому вода из океана ветрами вгоняется в земные недра, а оттуда поднимается вверх и питает ручьи и реки. Платон считал, что вода реками и четырьмя главными потоками земного шара, величайший из которых называется Океаном, через жерла стекает в огромный подземный омут Тартар, а оттуда вновь возвращается на поверхность для питания рек. По Платону, только мелкие источники могут происходить от дождевой воды.

Аристотель, выполнивший работу по систематизации имевшихся в его время знаний, оставил много ценных суждений, касающихся гидрометеорологических явлений.

По Аристотелю, твердая Земля, заключающая в себе также и водную стихию, окружена внешней оболочкой, в состав которой входят воздух и

огонь, причем атмосферная оболочка то пополняется влагой за счет испарения с морей и океанов, происходящего под действием солнечной теплоты, то выделяет из себя осадки. Эту оболочку Аристотель представлял в виде двух слоев. Во внутренней ее части влажные испарения, поднимающиеся не выше самых высоких гор, охлаждаясь, превращаются в жидкость и выпадают на землю; во внешний слой оболочки поднимаются сухие дымовидные испарения, образующие ветры. Все метеорологические явления объясняются движениями внутри указанных слоев.

Относительно рек Аристотель держался взгляда, что истоки самых больших из них находятся в наиболее высоких горах. Это соответствовало его мнению, что хотя источником всех вод на Земле является влага атмосферы, питание рек происходит двояким путем: во-первых, дождевыми водами, которых больше всего выпадает на горах, напитываемых, как губка, но которых далеко не достаточно для обеспечения стока рек в течение круглого года; во-вторых, и главным образом, водами, которые образуются в многочисленных земных холодных пустотах в результате конденсации в них воздуха (пара), поступающего туда из атмосферы.

Таким образом, Аристотелем была высказана конденсационная теория образования подземных вод. Однако он придавал слишком преувеличенное значение образованию источников в результате подземной конденсации воздуха. Но только спустя две тысячи лет было опровергнуто ошибочное мнение Аристотеля о том, что дождевых осадков недостаточно для образования речных потоков.

Из более поздних греческих естествоиспытателей назовем здесь еще Страбона, в «Географии» которого высказываются взгляды по некоторым метеорологическим вопросам. Важно отметить, что он был одним из первых, кто считал, что «дожди, наполняющие Нил, приходят с эфиопских гор» (Страбон, 1964, стр. 100). Заметим, что правильный ответ на «загадку» Нила, как уже отмечалось, был получен только в прошлом столетии, когда исследователи достигли его истоков и когда окончательно была подтверждена догадка, что причиной разливов Нила являются дожди, выпадающие в Абиссинском нагорье<sup>1</sup>.

Древние римляне, духовные восприимчивые своих соседей греков, признаваемые историками более склонными к практическим вопросам, чем к натурфилософии, в рассматриваемой нами области познания природы оставили немало интересного и ценного.

Гениальным трудом, отразившим уровень науки и философии I в. до н. э., явилась поэма Тита Лукреция Кара (99—55 гг. до н. э.) «О природе вещей». В ней в яркой форме выражены и представления о круговороте воды в природе. Вот отрывок, из которого мы ясно можем представить взгляд Лукреция на процесс образования облаков и дождевых осадков, в общем близкий к действительности:

Тучи собираются там, где слетается много шершавых  
Облачных тел наверху по пространству небесного свода.  
И хотя эти тела не слишком-то цепки, но все же  
Могут, друг с другом сплотясь, держаться достаточно крепко.  
Тут поначалу из них облака небольшие клубятся,  
Вскоре же после того свиваются, в кучу друг с другом  
Соединяясь, растут и уносятся по небу ветром  
Вплоть до того, пока вдруг не подымется дикая буря.  
Также заметно еще, что чем дальше вздымают вершины

<sup>1</sup> Для древних разливы Нила не могли не быть загадкой. Последний приток Нила находится от его устья за 3 тыс. км. Далее он течет по пустыне, в которой не бывает дождей. «Даже в Каире, где он разветвляется на множество рукавов и каналов, прокладывающих себе путь по вековым наносам дельты, выпадает только 25 мм осадков в год. Нил, от которого зависит расцвет или гибель Египта, едва ли получает хоть каплю влаги, выпавшей над Египтом» (Гильзенбах, 1964, стр. 12).



Горы и соседство небес, тем сильнее они и курятся  
Плотно окутавшей их облаков желтоватою мглою.  
Ибо лишь только начнут облака собираться по небу,  
Как уже ветры несут и к горным теснят их вершинам.  
Только тогда, наконец, накопляясь большою толпою  
И собираясь плотней, они видимы быть начинают  
И, от макушки горы поднимаясь, восходят к эфиру.  
Ибо и самая вещь, да и чувство, во время подъема  
На горы, нам говорят, что открыты для ветров высоты.  
Множество, кроме того, поднимает от моря природа  
Тел дождевых, как о том говорит нам вобравшее сырость  
Платье, которое мы развесим по берегу моря.  
Видно, из этого нам, что в значительной степени тучи  
Могут усиливать рост от движенья соленой пучины,  
Ибо во кровном родстве находятся всякие воды.  
Кроме того, и от рек, и от самой земли, как мы видим,  
Часто туманы идут и пар постоянно клубится;  
Точно дыханье, они уносятся кверху оттуда,  
Мглою своей небеса затмевая, и, мало-помалу  
Вместе сходясь в вышине, облака, наконец, образуют.

Приведенный и следующий фрагменты дают нам представление о цельной системе взглядов Лукреция на круговорот воды.

Кажется, прежде всего, удивительно людям, что море  
Не прибывает ничуть, несмотря на стремленье потоков,  
Что отовсюду в него впадают и льются обильно.  
Вспомни еще о дождях мимолетних, о бурях летучих,  
Что орошают моря и земли собой увлажняют;  
Вспомни морские ключи; но и это все, взятое вместе,  
Каплю будет одной по сравненью с объемами моря.  
Что же мудреного в том, что оно не становится больше,  
Многое, кроме того, испаряется солнечным жаром.  
Видим же мы, наконец, что до нитки промокшее платье  
Станет сейчас же сухим под палящими солнца лучами;  
Гладь же морей велика и широко под солнцем простерта.  
Сколько угодно мала поэтому может быть доля  
Влаги на месте любом, поглощаемой солнцем из моря,  
Но на пространстве таком ее убыль должна быть огромна;  
Могут и ветры к тому ж, взметая морские равнины,  
Множество влаги из волн уносить: ведь нередко мы видим,  
Как за одну только ночь просыхают дороги от ветра,  
И размягченная грязь застывает в окрепшую корку.  
Кроме того, я сказал, что множество алги и тучи  
Могут с собой уносить с равнины великого моря  
И выливать из себя по целому кругу земному  
В ливнях, когда облака понесутся, гонимые ветром.  
Так как земля, наконец, является пористым телом  
И примыкает к морям, побережья их окаймляя,  
То и вода, из земли утекая в моря, непременно  
В землю обратно должна из соленой пучины сочиться.  
Ибо морская вода проникает сквоззь почву, и жидкость  
В землю сочится назад, стекая к источникам водным,  
После чего по земле возвращается пресным потоком  
Там, где дорогу для волн она влажной пятою пробила.

Касаясь далее вопроса о ежегодных летних разливах Нила, Лукреций рассматривает вполне реальные возможные причины этого явle-

ния, хотя и не называет действительной причины — дождей, выпадающих в горах Эфиопии.

О Лукреции можно сказать, что в его представлениях о круговороте воды нашли отражение как взгляды Демокрита и Аристотеля о климатическом происхождении потоков, так и взгляды Фалеса и Платона о питании рек непосредственно морскими водами. Он ясно говорит об опреснении морской воды, проходящей через пористую землю к речным истокам.

Вопросы круговорота воды в природе нашли отражение в трудах другого энциклопедиста Древнего Рима — Луция Аннея Сенеки.

Сенека верил в то, что четыре элемента — огонь, воздух, земля и вода — подвержены переходу одного в другой. Он считал, что вода, стекающая с высоких гор, происходит из воздуха. Земля также превращается в воду и дает основание потокам, текущим по ее поверхности. Но с течением времени, полагал он, вода снова превращается в землю, и, таким образом, все элементы сохраняются в должном соотношении, а природа — в равновесии (см. Adams, 1928a, стр. 5).

Сенека, ссылаясь на собственные наблюдения, говорил, что образование родников не может объясняться дождями, ибо дождевая вода не проникает глубоко в землю. Как отмечает Дж. Томсон, Сенека, как ни странно, «придерживался неправильной и отвергнутой еще Аристотелем теории, что разливы Нила питаются водами, поднимающимися из подземных озер, а эти последние наполняются, по его мнению, не дождями, а водами, проникающими сквозь почву с моря» (Томсон, 1953, стр. 382).

Заметим, что мнение о неглубоком проникновении воды в почву, высказанное Сенекой, имело своих сторонников даже в последней четверти XIX в., о чем более подробно будет сказано далее.

О взглядах на круговорот воды, принадлежащих Плинию Старшему (23—79 гг. н. э.), крупнейшему натуралисту Древнего Рима, автору «Естественной истории» — самого популярного произведения вплоть до XV—XVI вв., можно сказать немного. Он учил, что вся вода стремится к центру Земли и потому собирается в самых низких местах, к которым она может пробиться. Но, как замечает Адамс, «он чрезмерно напрягал воображение», пытаясь найти причину, в силу которой вода поднимается в горы и изливается в виде родников. Он фантазировал о духе, побуждавшем воду раздуться и достигать истоков ручьев и рек (Adams, 1928a, стр. 5).

Мы можем закончить наш обзор представлений натуралистов древности о круговороте воды, остановившись еще только на одной крупной фигуре — Марке Витрувии Поллионе (вторая половина I в. н. э.), римском инженерере, авторе обширного труда по строительному делу «Об архитектуре».

В истории гидрологии и гидрогеологии Витрувий по праву признается первым автором, в ясной форме высказавшим взгляд об инфильтрационном происхождении грунтовых вод. В своем труде «Об архитектуре» он писал, что «лощины между гор особенно легко вбирают дождевые воды, и благодаря чаще лесов снега там под прикрытием теней деревьев и гор подолгу сохраняются и затем, по мере таяния, просачиваясь по земляным пластам, доходят до самого низа подошвы гор, откуда пробивающимися наружу токами бьют ключом источники» (Витрувий, 1936, стр. 218). В следующем за этим высказыванием специальном параграфе «О дождевой воде» Витрувий кратко, в общих чертах, излагает процесс испарения, образования облаков и выпадения дождей, считая двигательной силой этого процесса солнечное тепло и находящиеся в земных недрах «кипучие раскаленные массы и чреватые бурями воздушные стихии».

Краткий обзор представлений натуралистов древности о происхождении рек, источников, подземных вод, об испарении и дождях ясно показывает, что мыслители далеких от нас веков, располагая лишь скудными гидрометеорологическими сведениями, по большей части умозрительно, не

применяя еще для проверки своих предположений числа и меры, смогли высказать все основные гипотезы, относящиеся к круговороту воды в природе. Мы видели, что древними натуралистами были выдвинуты спорившие между собой в течение двух тысячелетий: 1) теория питания водой источников и рек непосредственно из морей, через подземные каналы (Фалес, Платон); 2) конденсационная теория (Аристотель); 3) инфильтрационная теория (Витрувий); 4) теории, в которых совмещались различные взгляды.

В. И. Вернадский, говоря о наследстве древних в познании вод, имел основание утверждать, что «в огромной литературе тысячелетий, из которой до нас дошли ничтожные отрывки, но которая оказывала в свое время влияние целиком и существовала и охватывала в течение столетий научную мысль в таких размерах, которые мы не можем сейчас даже себе представить, несомненно находятся корни многих современных представлений» (Вернадский, IV, 2, 1960, стр. 211).

## ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НАТУРАЛИСТОВ СРЕДНЕВЕКОВЬЯ И ЭПОХИ ВОЗРОЖДЕНИЯ

(до последней четверти XVII в.)

Наступивший в Европе в половине первого тысячелетия н. э. период феодализма, хотя он и явился более высоким по сравнению с уступившим ему место рабовладельческим строем, на первой своей стадии, длившейся с V по XI в. и условно называемой ранним средневековьем, характеризуется, как известно, упадком и застоєм в развитии познания природы. Не останавливаясь на причинах этого, отметим лишь, что занявшая в Западной Европе господствующее положение церковная схоластика подавляла всякое проявление научной мысли не только в раннем средневековье, но и в течение последующих веков. Достижения мыслителей античности были забыты. Как уже говорилось, представление о шарообразности Земли надолго уступило место фантастическим взглядам на мир, например системе мироздания Индикоплова.

Однако по мере расширения торговых и культурных связей европейских государств с восточными, особенно усилившихся во втором периоде средневековья, доставлялось все более и более разнообразных сведений о природе, а также о сохранившемся в арабском мире натурфилософском наследстве древних народов. Человеческая мысль вновь вышла на путь научных исканий, получивших систематическое развитие со второй половины XV в. и увенчавшихся в эпоху Возрождения замечательными успехами во многих областях знания. Пытливые умы вновь занялись поисками ответов на вопросы, связанные с круговоротом воды. Однако, как мы дальше увидим, правильный ответ на главный вопрос этого сложного явления: каков источник круглогодичного питания рек? — был получен только в 1674 г., т. е. значительно позже того времени, которому посвящается настоящий раздел.

В период средневековья господствующее представление о круговороте воды в христианском мире основывается на библейском указании, гласящем: «Все реки текут в море, но море не переполняется; к тому месту, откуда реки текут, они возвращаются, чтобы опять течь» (Книга Екклесиаста, I, 7). Что касается того, какими путями воды возвращаются к истокам рек, то, как и в древности, на этот счет высказывались различные взгляды. Чаще всего, рассматривая океан первоисточником вод, считали, что они циркулируют в теле Земли по системе каналов и пустот. Этот взгляд разделялся и арабскими учеными. Так, в иранском труде второй половины X в. «Науки о природе» говорится: «Знай, что моря соединяются друг с другом или проливами и перешейками, или своими протоками и

каналами в земных недрах» (Избранные произведения мыслителей..., 1961, стр. 154).

Вместе с тем арабы, ранее европейцев ознакомившиеся с текстами древнегреческих натурфилософов, в своих трактатах и комментариях к текстам разделяли учение Аристотеля о круговороте воды. Масуди (конец IX в. — 956 или 957 г.) принадлежит экспериментальное доказательство правильности теории Аристотеля об атмосферной циркуляции морской воды: испаряя в перегонной колбе соленую морскую воду, он получал пресную. Масуди сравнивал круговорот воды с воротом, который поднимает воду из реки и доставляет ее полям, откуда она снова возвращается в реку. Казвини (XIII в.) утверждал, что содержащиеся в воздухе водяные пары должны на высоких горах сгущаться в дождь.

К концу раннего средневековья вопросы испарения, образования облаков и дождей, просачивания воды в землю стали привлекать внимание как арабских, так и европейских, в том числе славянских, писателей. Так, в «Шестодневе», произведении Иоанна, экзарха Болгарского, жившего в конце IX — начале X в., о море, о циркуляции воды и вызывающих ее причинах имеется следующее место: «Прекрасно то, что принимает оно в себя все реки и не выходит из своих пределов. Море необходимо и воздушным водам, для которых оно источник и начало. Оно греется лучами солнца и отдает сущность водную через испарение и курение [туман]. Влага, поднятая в высоту, остужается. Поднятая на высоту лучами [солнца], вознесенная от земли, собравшись в тени облаков и отяжелев, она образует дождь и падает на землю... (Горский, 1962, стр. 22)<sup>1</sup>. Замечательное суждение, как будто оно написано не тысячу лет назад, а в нашем веке. Оно, как правильно замечает Н. Н. Горский, убедительно показывает, что не обращать внимание при исследовании развития научных знаний на природоведческие представления, имевшиеся у славянских народов, было бы ошибкой.

Альберт фон Больштедт, первым из натурфилософов средневековья обратившийся непосредственно к греческим текстам древних мыслителей, восстановил в научной литературе неискаженные или во всяком случае менее искаженные, чем в переводах с арабских переработок, взгляды Аристотеля, в том числе представление о шарообразности Земли, о пустотах и каналах в ней и о круговороте воды в природе, выказав себя их приверженцем.

В наступившую за средневековьем эпоху Возрождения и в несколько более позднее время, вплоть до конца XVII в., наряду с распространением взглядов великого грека было высказано немало и других теорий о круговороте воды, многие из которых имели зерна истины, но некоторые отличались и труднообъяснимой фантастичностью.

В эпоху Возрождения жил и творил Леонардо да Винчи. Хотя его рукописи были опубликованы лишь в конце XIX — начале XX в. и только некоторые высказывания ученого стали в XVI—XVII вв. достоянием узкого круга лиц по двум рукописным компиляциям — «Трактату о живописи» (составленному в середине XVI в., напечатанному в 1651 г.) и «Трактату о движении и измерении воды» (составленному в 1643 г., напечатанному в 1826 г.), нельзя не остановиться на мыслях этого гения, имеющих прямое отношение к нашей теме. Читая многочисленные рассуждения Леонардо да Винчи, посвященные круговороту воды, живо чувствуешь напряженную работу его мысли, искавшей ответ на вопрос о происхождении рек, о главном источнике их питания.

Как художник и конструктор летательных аппаратов, Леонардо да Винчи постоянно интересовался метеорологическими явлениями. Он много размышлял над вопросами испарения воды, образования облаков, выпадения

<sup>1</sup> Перевод с древнесловацкого на русский некоторых фрагментов «Шестоднева» сделан доктором филологических наук О. А. Державиной.

ния дождей, над причинами ветра. Многие свои утверждения Леонардо да Винчи проверял экспериментами. Так, он описывает опыт, которым им устанавливается «правило, насколько возрастает вода, обращаясь в воздух»<sup>1</sup>. Предполагая, по-видимому, написать специальную работу по метеорологии, Леонардо да Винчи сделал следующий набросок плана работы: «Напиши, как облака образуются и как они рассеиваются и что является причиной, поднимающей пары воды от земли в воздух, и о причине туманов и уплотнении воздуха, и почему воздух кажется более лазурным в одних случаях и менее лазурным в других, а также опиши слои воздуха и причину снега, града, причину отвердевания воды и превращения ее в лед, и образования в воздухе новых фигур снежинок...» (Леонардо да Винчи, 1955, стр. 48). В задуманной книге о воде он также собирался написать о том, «как вода поднимается, благодаря теплоте солнца, а затем ниспадает дождем» (там же, стр. 339). Леонардо да Винчи писал о просачивании дождевых и снеговых вод через трещины в горных местностях в жилы и пустоты земных педр. Однако атмосферные осадки он считал только увеличивающими количество воды в реках, но не основным источником питания их. Он отрицал образование подземных вод путем конденсации паров в пустотах, основываясь на том, что «своды пещер всегда сухие, как можно это видеть в подземных рудничных коях» (там же, стр. 452).

Главным источником подземных вод, дающих начало рекам и поддерживающих их постоянное течение, Леонардо да Винчи считал морские воды. Он писал: «Ведь вода к величайшему удивлению ее наблюдателей поднимается из последней глубины моря до высочайших вершин гор и, сливаясь по прорвавшимся жилам, возвращается вниз к морю, и снова быстро вздымается и возвращается к указанному уже нисхождению; то обращаясь от внутренних частей к внешним, то от нижних к выпележащим, то в естественном движении опускаясь долу, то сливаясь воедино, в постоянном круговращении движется она, кружа по земным проходам» (там же, стр. 441).

Но как морская вода поднимается к горным истокам рек? Он, как отмечает В. П. Зубов, «упорно размышлял» о более старой теории Б. Латини, Р. д'Ареццо, изложенной последней в сочинении «Строение мира» (1282) и бывшей общепринятой у современников Леонардо, согласно которой уровень морской воды выше уровня суши (Зубов, 1955, стр. 976). Но доводы в пользу такого объяснения он считал «пустыми» и «ребяческими». Он высказывал мысль, что вода поднимается под действием солнечного тепла, но говорил и обратное, а именно, что Солнце не обладает такой силой, «ибо теплота его мало проникает вниз». Лучшее доказательство того, что морская вода, питающая реки, проникает к горным высотам, одно время он видел в уподоблении Земли живому организму, а движение воды — движению крови. «Тело Земли, — писал Леонардо да Винчи, — наподобие тел животных, соткано из разветвленных жил, которые все соединены друг с другом и предназначены питать и оживотворять эту Землю и ее создания» (там же, стр. 441). Но, кажется, он затем снова вернулся к объяснению подъема воды к вершинам гор действием солнечного тепла (там же, стр. 976).

По поводу взглядов Леонардо да Винчи на круговорот воды можно сказать, что хотя он недооценивал значение атмосферной влаги в питании рек и образовании подземных вод, его суждения, пусть во многом и ошибочные, были лишены схоластики и грубых фантазий.

Леонардо да Винчи старался исходить из опыта. Сначала наблюдай, говорил он, а уж потом применяй рассуждение. Но он понимал также огромное и главенствующее значение научной теории. Связь теории с прак-

<sup>1</sup> Как замечает В. П. Зубов, Леонардо да Винчи пользовался языком античного учения о взаимопревращении стихий.

тикой хорошо выражена им в афоризме: «Теория — полководец, а практика — солдаты».

После изложения взглядов Леонардо да Винчи на круговорот воды нельзя не сказать несколько слов об отношении к этой проблеме другого выдающегося естествоиспытателя того времени — Г. Агриколы (1494—1955 гг.). В опубликованной в 1546 г. работе «De ortu et causis subterganeorum» («О месте и причинах подземных [потоков]») он считает, что подземные воды создаются частью дождевой и речной водой, частью водой океана, проникающей сквозь землю, частью же за счет сгущающихся подземных паров, происходящих также от дождевой, речной и морской воды (Argicola, 1939, стр. 8).

Уподобление Земли живому организму с циркулирующей кровью по его артериям и венам можно найти не только у Леонардо да Винчи, но и в сочинениях как более раннего, так и более позднего времени. Не зная об огромных количествах переносимых воздушными потоками водяных паров, с избытком достаточных для питания рек в течение всего года, авторы этих сочинений должны были предполагать наличие в Земле разветвленных жил, по которым вода движется под действием одушевленной силы, как в живом организме. Иначе непрерывное течение рек, тем более больших, оставалось необъяснимым.

150 годами позже Леонардо да Винчи Декарт писал в своих «Началах философии», что через широкие подземные каналы «всегда такое же количество воды возвращается к корням гор, какое сходит с гор» (Descartes, 1905, стр. 243), и что вода циркулирует в реках и в земле так же, как кровь животных циркулирует в их венах и артериях. Так участвует в круговороте большая часть воды. Но меньшая часть, писал Декарт в своем сочинении «Метеоры» (1637 г.), «поднимается в воздух в виде паров и вновь падает на землю в виде дождя или снега» (Декарт, 1953, стр. 209).

Итальянский автор Фонтана в работе, относящейся уже к более позднему времени (1695 г.), утверждал, что движение вод, будь это пересыхающие реки, питаемые дождями и водами, поднимающимися по проходам из бездны, или источники, бьющие на горных склонах, — результат действий одной и той же причины. Эти действия являются частью механизма «геокосмоса», точного подобия системы кровообращения у человека, и потоки поднимаются и падают благодаря душе (anima) (см. Adams, 1928a, стр. 9). Наконец, можно еще сказать о мнении Ван-Гельмонта по поводу силы, управляющей движением подземных вод. Он считал, что ядро Земли состоит из песка, пропитанного неисчерпаемыми количествами воды. Под действием двигательной силы, которой одарена Земля, по всей массе песка возникает общее движение воды, распространяющееся и на самые высокие горы. Но выйдя из сферы влияния песчаного ядра и появившись на земной поверхности, вода следует уже закону тяжести, с высоких мест стекает к низким и, наконец, вливается в море. Таким образом, движение вод подобно циркуляции крови в человеческом теле, независимой от силы тяжести; но стоит крови выступить наружу, например через рану, как она теряет собственную силу движения и следует закону тяжести (см. Кейльгак, 1935, стр. 56).

Вновь и вновь авторы научных трактатов той поры в своих объяснениях «загадки» горных истоков рек (для них это была загадка без кавычек) прибегают к попытке доказать, что уровень средней части океана стоит выше самых высоких гор.

Француз, врач из Блуа Н. Папен в книге «Философские размышления, касающиеся солености, приливов и отливов моря и происхождения источников как рек, так и родников», изданной в 1647 г., писал, что Земля, несомненно, имеет круглую форму и воздух полностью обволакивает ее, но море не полностью покрывает Землю, иначе не осталось бы места животным и растениям. Следовательно, природа распорядилась так, что море благодаря некоему «конкретивному духу» располагает свои

воды в форме полусферы на поверхности Земли, и поверхность океана, удаленная от суши, находится выше самых высоких гор.

Из-за постепенно возрастающей кривизны моря, говорит Папен, только с высоты мачты можно видеть удаленный предмет, невидимый с палубы. Для подкрепления своего взгляда он приводит еще следующее наблюдение. Близ Генуи на южном склоне горы, на высоте одной мили находится искусственный доверху наполненный бассейн. И вот если стать позади бассейна и смотреть на горизонт моря, то окажется, что поверхность бассейна и горизонт моря лежат на одной высоте. Ясно, заключает Папен, что соответствие между высшими точками моря и самыми высокими горами не подлежит сомнению (Wisotzki, 1897, стр. 44). А это значит, что морская вода, заполняющая трещины на высоких местах дна океана, может проникнуть в глубь Земли и благодаря гидростатическому равновесию подняться на вершины гор и прорваться там в виде источников.

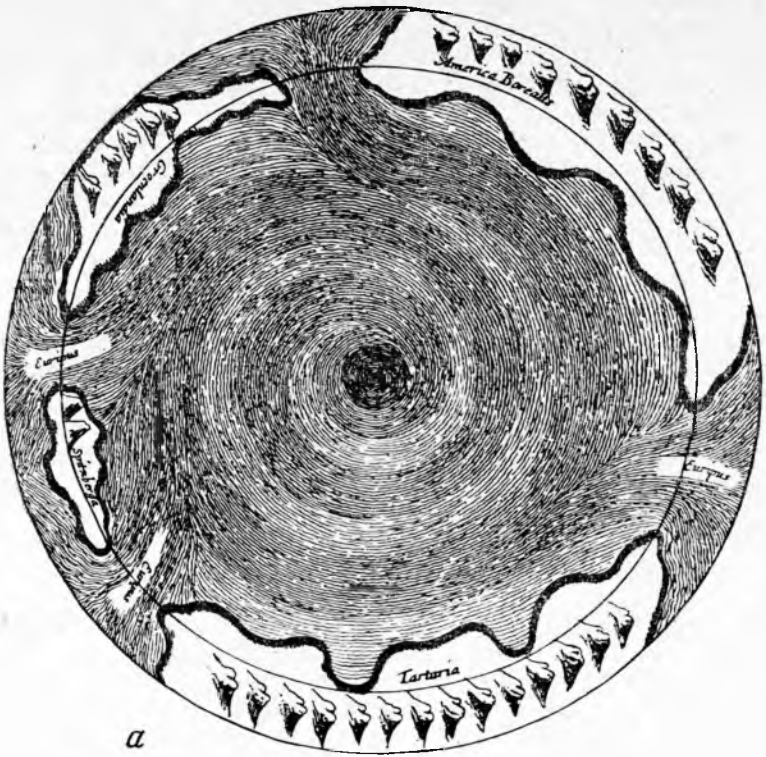
Писавший в то же время (1951 г.) Сенарт, не знавший, по-видимому, о гидростатическом равновесии, полагал, что океан благодаря своему гигантскому весу силой может проникать через трещины в Землю и достигать высоких горных вершин. Другие исследователи причину подъема воды в горы видели в содержащейся в горных областях «скрытой силе», в магнетическом и капиллярном действии, в притягивающем воздействии звезд.

Но кроме сложного вопроса о силе, которая якобы поднимает морскую воду из земных глубин в горы, вставал еще один не менее трудный вопрос о том, почему морская вода соленая, а речная — пресная. Ответ состоял в том, что морская вода, проходя земные слои, просачивается через столь узкие щели, что они пропускают только воду, состоящую из тонких частиц. Так, Декарт на вопрос: «Почему вода в большинстве родников пресная, а море остается соленым?» — дает такой ответ: «И хотя море соленое, с гор стекают только частицы пресной воды, которые ведь тонки и гибки, а частицы соленой, поскольку они тверды и негибки, не обращаются легко в пар и не могут как-либо переноситься через искривленные ходы в земле» (Descartes, VIII, 1905, стр. 244).

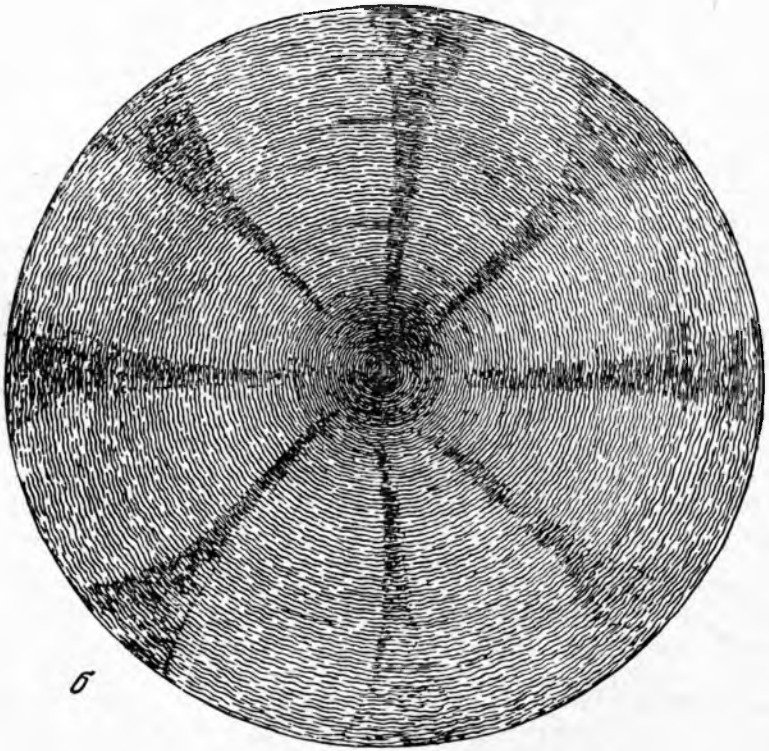
Но, как пишет Адамс, по мере того как становились лучше известны законы гидростатики, а также было установлено, что соль не может быть отфильтрована из воды, но может быть удалена из нее путем дистилляции, в XVI и XVII вв. получила все большее распространение теория подземной конденсации паров морской воды. Согласно этой теории, которая разделялась и Декартом, морская вода, проникая в глубокие слои Земли, встречает там подземный огонь, поддерживаемый, как считали некоторые исследователи, серой и битумом; огонь обращает воду в пар, пар сквозь земную кору проникает к горным вершинам, а соль остается внутри Земли; в горных пустотах пар сгущается в воду, которая через щели в склонах гор вытекает на дневную поверхность, образуя источники. Считалось, что источники чаще встречаются в горах, чем на равнинах, потому, что холод в горах быстро сгущает поднимающиеся пары, в то время как на равнинах, где температура более высокая, конденсация затрудняется.

Ф. Адамс называет ряд сочинений от середины XVI и до конца XVII в., в которых, как он говорит, монотонно повторялось мнение, что каждый горный хребет содержит цепь огромных «перегонных кубов». Но к этому списку безусловно следует добавить вышедшее в 1664 г. сочинение немецкого естествоиспытателя А. Кирхера «Mundus subterraneus» («Подземный мир»), которое имело большую популярность у современников и в котором как раз идея о перегонке морской воды в земных пустотах представлена выразительно и наглядно.

Относительно водной стихии Кирхер говорил, что вода всюду, как в море, так и внутри Земли, находится в движении. Он нанес на карту Земли морские течения и объяснял направление их в тропиках с востока на за-



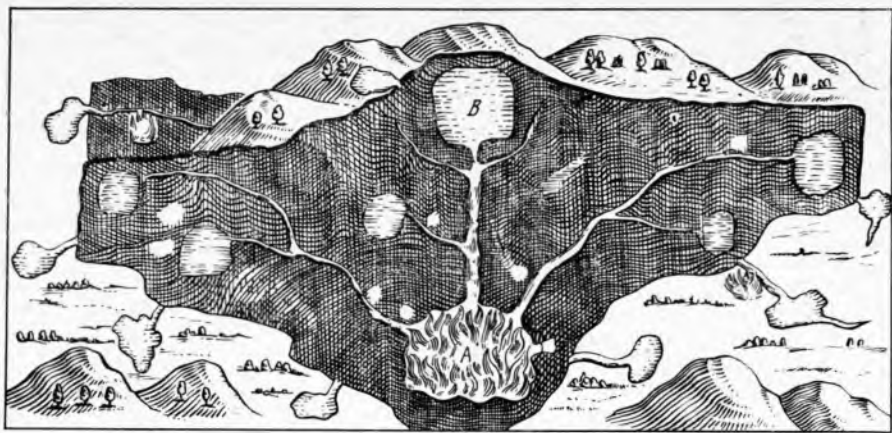
*a*



*b*

Р и с. 27. Морские течения на полюсах, по А. Кирхеру  
*a* — на Северном полюсе; *b* — на Южном полюсе





Р и с. 28. Происхождение горячих ключей, по А. Кирхеру

А — очаг подземного огня; В — подземное вместилище воды

пад тем, что Солнце, двигаясь в этом направлении, поглощает много воды, взамен которой притекает свежая. Причиной морских течений из полярных стран к экватору также является огромное испарение воды у последнего. Но кроме этого круговорота в море, по Кирхеру, существует еще второй круговорот — подземный. На Северном полюсе морская вода через крупнейшую воронку втекает в земные недра, проходит по подземным каналам, очищаясь от примесей под действием внутреннего огня, и снова вливается в океан на Южном полюсе (рис. 27, а и б). Кирхер считал, что кроме подземного сообщения между полярными океанами существует сообщение между Черным и Каспийским морями, между Каспийским морем и Персидским заливом; что Красное море соединяется подземными путями со Средиземным и Мертвым морями; что каналы проходят через Сицилию и Скандинавский полуостров и что имеются подземные ходы между горами Мексики и Мексиканским заливом.

Кирхер помещает в своей книге разрез Земли (рис. 28), на котором рядом с внутренними очагами (пирофилияциями) изображены водоемы (гидрофилияции), сообщающиеся между собой и с океаном благодаря каналам.

Кирхер считал, что из дождя и тающего снега могут образоваться только временные ручьи, тогда как воды постоянных потоков должны пройти внутреннюю очистку и конденсацию. Наибольшее значение у Кирхера имеют находящиеся в горах гидрофилияции, которые наполняются не дождевыми или талыми водами, а морскими. В горные водоемы, расположенные выше уровня океана, вода проникает благодаря приливу и ветру. Из этих больших водных вместилищ вода распределяется по ручьям и рекам или стекает в нижележащие водоемы, а из них выходит на поверхность. Весь этот круговорот воды между морем и горами изображен на рис. 29.

Заканчивая обзор представлений о круговороте воды натуралистов средневековья, эпохи Возрождения и несколько более позднего времени, захватывающего примерно три четверти XVII в., скажем еще о сочинениях Б. Варения, И. Фоссия, Дж. Риччиола и Б. Палисси.

Голландский географ Варений является автором первого обширного систематического труда по физической географии, вышедшего в свет в 1650 г. и изданного в России по указанию Петра I в 1718 г. под названием «География генеральная или повсюдная в нейже эффекции или действия генеральная земноводного круга толкуются». Этот труд в течение длительного времени являлся в России основной учебной книгой по географии.



Р и с. 29. Круговорот воды между морем и горами, по А. Кирхеру

Задаваясь вопросом, почему океан не увеличивается, принимая многие реки, Варений отвечает, что, во-первых, вода из моря возвращается к истокам рек через «подземные окна», а во-вторых, много влаги испаряется.

Однако второму пути расходования воды океаном он придает лишь второстепенное значение. Он оспаривает мнение Аристотеля о происхождении подземных вод из воздуха, содержащегося внутри Земли, признает ошибочным взгляд тех, кто считает, что «тоlikое множество паров из моря изъе́млетсЯ, колико родится могло бы из воды, которая из рек в море втекает» (Варений, 1718, стр. 199), и соглашается с теми авторами, которые считают, что «сколько в море втекает воды из рек, столько земля обратно восприимлет».

Варений полагал, что основным источником питания рек наряду с атмосферными осадками являются воды, поступающие в реки из моря «через подземные окна». В подтверждение своих представлений он приводит Египет, «где редкие дожди, нет снегов, а реки обретаются». Варений еще не знал, что и питание Нила целиком зависит от атмосферных осадков. Но какая сила гонит морские воды к истокам рек — этот вопрос остается у Варения неясным. По поводу мнения о более высоком положении уровня океана по сравнению с сушей он говорит, что «лживо есть сие мнение», а также утверждает, что вода не имеет никакого естественного движения, кроме движения с высоких мест к низким.

Варений немало рассуждает по поводу испарения и образования гидометеоров, а также о взаимопревращениях земли, воды и воздуха. Но, кажется, он не разделяет мнения, что «воскурения в воздух превратиться

могут». Он пишет, что «атмосфера и аер нечто иное есть, токмо сотканье многих корцускулев (или малых телес), которое к земли прилепляется, якоже мох яблоко котонское одевает» (там же, стр. 286).

Голландец И. Фоссий в изданном в 1656 г. в Гааге трактате «De Nile et aliorum fluminum origine» («О Ниле и о происхождении других рек») выступает с критикой тех ученых, которые связывают происхождение рек с существованием исполинских подземных водоемов, и защищает положение, что реки происходят от стока дождевых вод.

Но итальянский иезуит Дж. Риччиоли (1598—1671 гг.), автор изданного в 1661 г. в Болонье труда «География и гидрография», дождевым осадкам отводил второстепенную роль в питании рек. Риччиоли первым попытался в указанном труде определить общий сток рек земного шара. За основу своего расчета он взял р. По, сток которой он нашел равным 48 000 000 000 кубическим футам в сутки (Ricciolio, 1661, стр. 450), т. е. примерно  $470 \text{ км}^3$  в год, поскольку Риччиоли имел в виду римский фут, равный 29,6 см (по современным данным, среднегодовой сток По составляет около  $47 \text{ км}^3$ ). Затем он по картам определил длину рек континентов в сравнении с р. По и при этом получил, что

длина рек Европы	равна	100	длинам По
» Азии	»	465	»
» Африки	»	190	»
» С. Америки	»	619	»
» Ю. Америки	»	2240	»

Длину всех рек мира он приравнял 4000 длинам р. По. Среднегодовой сток рек земного шара Риччиоли определил, исходя из величины стока По, и считая сток всех рек пропорциональным их длине. При этих условиях оказывается, что все реки мира несут в океан около 1900 тыс.  $\text{км}^3$  воды в год, т. е. примерно в 50 раз больше, чем принимается ныне.

Как справедливо замечает И. Сташевский, ценность расчетов Риччиоли заключается не в результатах, а в постановке проблемы и в применявшейся методике (Staszewski, 1966, стр. 180).

Сочинение французского ученого Б. Палисси «Приятные размышления о природе вод и источников, как искусственных, так и естественных, о солях, соляных отложениях и т. д.» впервые увидело свет в 1580 г. в Париже, но мы говорим о нем под конец потому, что по существу своих взглядов Палисси на целых 100 лет опередил других ученых в правильном понимании происхождения источников и рек и мог бы рассматриваться в следующем параграфе, посвященном периоду опытного изучения круговорота воды.

Б. Палисси, гончар, искусный художник-керамист и естествоиспытатель с широким кругом интересов, противник средневековой схоластики, поборник опытных исследований природы, много занимавшийся также устройством артезианских колодцев, относительно происхождения подземных вод пришел в конце своей жизни к следующему заключению: «Я долго и тщательно изучал причины образования естественных ключей и тех местных условий, при которых они образуются, и убедился, наконец, что они все происходят от дождей и существуют только благодаря дождям» (см. Марш, 1866, стр. 466)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Марш, американский ученый, приводит следующее, относящееся к 1855 г., любопытное высказывание французского физика Ж. Бабинне (1794—1872 гг.), предлагавшего создание искусственных ключей путем собирания атмосферной воды на песчаных площадках: «Я намерен теперь изложить перед моими читателями способ устройства искусственных колодцев по плану знаменитого Бернара Палисси, который назад тому триста лет похитил у меня, академика девятнадцатого столетия, открытие, стоявшее мне стольких трудов. Это одно уже может отбить охоту стремиться к изобретениям, если изобретатель должен опасаться похитителей не только в будущем, но даже и в прошедшем» (Марш, 1866, стр. 488).

Сочинения рассмотренного периода убеждают нас в том, что после некоторого перерыва в развитии научной мысли по пути к правильному представлению о круговороте воды в эпоху Возрождения и в XVII столетии многие натуралисты напряженно искали ответы на вопросы, связанные с происхождением источников и рек. По сравнению с древними мыслителями они имели более широкий географический кругозор, более высокий уровень физических, метеорологических и геологических знаний, большой опыт хозяйственного использования вод. Благодаря работам С. Стевина (1585 г.), Г. Галилея (1612 г.) и Б. Паскаля (1650 г.) становятся известными законы гидростатики. Опытами Г. Галилея (1632 г.), Э. Торичелли и В. Вивiani (1643 г.), Б. Паскаля (1648 г.), О. Герике (1650 г.) доказывался факт давления воздуха и определяется его вес (Хриган, 1959, стр. 36). Изобретаются такие важные метеорологические приборы, как термометр, барометр (Торичелли, 1643), гигрометр (первое упоминание — у Н. Кузанского, жившего в 1401—1461 гг.; имевший большое практическое значение конденсационный гигрометр создан учеными флорентинской Академии опыта), дождемер (Б. Кастелли, 1639 г.). Дождемер Кастелли, которым он произвел в Италии наиболее ранние измерения осадков, представлял собой цилиндрический сосуд высотой около пяди и диаметром в полторы пяди (Кедроливанский, 1947). Имеются, однако, сведения, что уже в IV в. до н. э. количество осадков было известно для многих мест Индии, а в Корее в 1442 г. осадки измерялись с помощью бронзовых сосудов высотой 30 см и диаметром 14 см (там же). А. Гумбольдт подчеркивает заслугу Ф. Бэкона, который рассмотрел направление ветров на земном шаре, указав на их зависимость от температуры и влажности. И все же выработка правильного представления о круговороте воды в рассмотренный период продвинулась вперед очень мало. Только суждения Леонардо да Винчи и Бернхарда Варения могут быть выделены как менее других содержащие беспочвенные фантазии и приближающиеся к истине, а также правильный научный взгляд Бернара Палисси и И. Фоссия.

Такое состояние знаний может быть объяснено двумя причинами: во-первых, подавлявшим живую мысль авторитетом церковной схоластики и, во-вторых, отсутствием достаточно назревших потребностей и необходимых технических средств количественного определения данных, относящихся к круговороту воды (скоростей течения и расходов воды в реках, дождевых и снеговых осадков, испарения и т. д.).

Существенно отметить еще следующее. Хотя уже Герон Александрийский (I в. н. э.) знал, что расход воды в потоке выражается произведением площади поперечного сечения на среднюю по сечению скорость течения ( $Q = \omega v$ ), в течение многих последующих веков принимали  $Q = \omega$ . И хотя, например, Леонардо да Винчи изучал распределение скоростей в открытых потоках, он, как пишет А. Бисвас, не учитывал скоростей при определении расходов воды (Biswas, 1970, стр. 87). Только Б. Кастелли вновь в 1628 г. предложил вычислять расход по уравнению  $Q = \omega v$ .

Количество переносимой воздушными потоками влаги и дождевых осадков по-прежнему чрезмерно преуменьшалось, а объем воды, доставляемой реками в океан, чрезмерно преувеличивался. Так, например, Леонардо да Винчи утверждал, что «Нил уже излил в море большие воды, чем в настоящее время ее существует во всем мире» (Леонардо да Винчи, 1955, стр. 448). Но в действительности потребовалось бы около 20 млн. лет для того, чтобы Нил заполнил океан своим стоком, а такая длительность существования Земли не предполагалась.

## ОПЫТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ВЫРАБОТКА ПРАВИЛЬНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ (до первых лет XIX в.)

Начало нового периода, к которому мы переходим, находится на грани третьей и последней четвертей XVII в. Именно в это время забытое в течение столетия научное достижение Палисси в развитии представлений о круговороте воды в природе приобретает своих приверженцев, прежде всего в лице группы французских естествоиспытателей, а также английских, итальянских и других ученых.

Опытное изучение природы, к которому настойчиво призывал еще Ф. Бэкон в своем знаменитом «Новом Органоне», выпедшем в свет в 1620 г., проникает во многие отрасли знания. К этому времени в ряде областей естествознания уже имелось немало выдающихся научных результатов. О некоторых из них, имеющих отношение к рассматриваемой проблеме, кратко уже было сказано.

Проверка умозаключений, основанных на созерцательном наблюдении явлений природы, числом и мерой, применение метода баланса начинают находить место и в изучении круговорота воды.

Первым, кто решил таким путем подтвердить свое убеждение в достаточности атмосферных осадков для питания рек, был Пьер Перро (1608—1680 гг.), французский натуралист. В 1674 г. он опубликовал трактат «De l'origine des fontaines» («Происхождение источников»), в котором описал произведенное им количественное определение стока Сены в ее верховье с сопоставлением стока с атмосферными осадками в этом бассейне. В своем сочинении Перро прежде всего подвергает критике теорию Аристотеля. «Я уверен,— пишет Перро,— имеется больше вероятности в приписывании источников и рек дождевой и снеговой воде, чем исключительно внутренней перегонке в Земле». «Здравый смысл,— продолжает он,— никогда не предпочтет средство такое же неясное, как перегонка, последствия которой кажутся довольно слабыми, средству такому очевидному, как дождь, последствия которого так велики и так общеизвестны» (Perrault, 1939, стр. 20).

Свои расчеты Перро произвел для бассейна Сены до пункта Эне-ле-Дюк с площадью, равной 6 кв. лье<sup>1</sup>. Высота слоя осадков была принята по измерениям самого Перро, которые он вел с октября 1668 г. по январь 1674 г., равной 19 $\frac{1}{3}$  дюйма; их годовой объем составил 224 899 942 мюи. Годовой сток воды в Сене в указанном пункте оказался равным 36 453 600 мюи. Таким образом, в реку попадало только около 1/6 части всего количества дождевых и снеговых осадков, и, следовательно, оказалось, что количество осадков было не только достаточно для питания реки, но еще и оставалось 5/6 их объема для покрытия различных потерь. Перро пришел к справедливому выводу, что даже если его расчет носит в высшей степени приближенный характер, он все же обоснованнее утверждения Аристотеля и его последователей о недостаточности дождевой воды для питания рек. Свой вывод относительно одной реки Перро считает возможным принять для всех рек мира, имея в виду большой запас осадков, оставшихся на покрытие потерь, а также то, что реки имеют гораздо большие бассейны, чем тот, для которого произведен расчет.

По поводу того, что имеются области, где дожди редки или не бывают совсем, а реки все же протекают, Перро говорит, что, во-первых, реки в таких областях текут непостоянно, только зимой, летом же пересыхают; во-вторых, следует иметь в виду, что некоторые реки могут брать начало в других районах, как, например, Нил. Это, говорит он, подобно тому,

<sup>1</sup> Лье — мера длины во Франции, равная 4,444 км. Мюи — мера сыпучих тел и жидкостей во Франции, равная для жидкостей 274 л.

что имеются страны, которые не производят своего вина, но привозят его, как и другие продукты, издалека<sup>1</sup>.

Таким образом, впервые примененный количественный подход к исследованию проблемы питания рек убедительно показал происхождение их от атмосферных осадков. Однако традиционные представления не сразу уступили место этому новому научному достижению. Так, против Перро выступил английский натуралист Р. Плот. Он заявил, что, учитывая исключительно большое количество осадков по сравнению с количеством речной воды, как это, по-видимому, следует из вычислений Перро, спор можно было бы считать улаженным и дождевые осадки признать более чем достаточными для питания рек. Однако, говорит он, возникает вопрос, будет ли так обстоять дело повсюду и будет ли везде предполагаемый избыток осадков хотя бы наполовину таким, каким его нашел Перро. Плот считает, что в действительности имеет место обратное. Он производит расчет для одного из бассейнов в Англии и находит, что количество воды в реке намного превосходит количество атмосферных осадков, даже без учета испарения и прочих потерь. Но, как замечает Э. Высоцкий, при этом он прибегает к ограничению или, наоборот, к выдвигению на первый план отдельных факторов в духе, благоприятном для его точки зрения. Этот вывод он затем старается распространить на всю Землю. Установленное Перро количество осадков, равное 19 дюймам, принимается им как общее для всех мест. Количество речной воды, вычисленное Дж. Риччиоли, значительно увеличивается им, и, наконец, он приходит к окончательному результату, что объем речной воды по меньшей мере в 300 раз, если не в 500 раз превышает количество атмосферных осадков и что, следовательно, эти последние совершенно не в состоянии обеспечить питание рек. Но, заключает Э. Высоцкий, «усилия Плота упали на неблагоприятную почву, стремления эпохи были направлены как раз на освобождение от авторитетов, и это было окончательно осуществлено по отношению к данному вопросу Мариоттом и Галлеем, двумя известными физиками» (Wisotzki, 1897, стр. 37).

В 1686 г., годом позже попытки Плота опровергнуть взгляд Перро, публикуется «Трактат о движении вод» французского ученого Э. Мариотта (1620—1684 гг.), благодаря которому представление об атмосферном питании рек сильно подкрепляется. Мариотт поручил одному своему помощнику производить измерения дождевых осадков в течение длительного времени в Дижоне, в результате чего была получена величина 17 дюймов. Мариотт принял для своего расчета только 15 дюймов и нашел, что количество атмосферных осадков для площади в одну квадратную милю составляет 238 050 000 куб. футов. Площадь бассейна Сены вплоть до Парижа была определена им в 3000 кв. миль, а количество осадков, ежегодно выпадающих в виде дождя, в 714 150 000 000 куб. футов. Далее путем тщательных вычислений Мариотт нашел, что годовой сток воды в Сене у Королевского моста в Париже равен 10 520 000 000 куб. футов, что составляет менее одной шестой части всего годового количества атмосферных осадков, выпадающих в бассейне Сены. Тем самым снова было доказано, что количество осадков, выпадающих с дождем, превосходит количество воды, стекающей в реки. Э. Мариотт произвел также измерения уровня грунтовых вод в подвалах Парижской обсерватории и показал

<sup>1</sup> В 1809 г. книга «De l'origine des fontaine» была приписана Д. Папену (J. Dooge, 1959). Ф. Адамс в статье, опубликованной в 1928 г., неправильно автором ее указал Н. Папена, якобы коренным образом изменившего свою прежнюю точку зрения (Adams, 1928), по поводу чего нами было выражено недоумение (Федосеев, 1967, стр. 90). Но заметкой, опубликованной в том же 1928 г. в журнале «Science», Ф. Адамс сделал исправление, приведя доказательства авторства П. Перро (Adams, 1928б). Выказывая свое недоумение, мы, к сожалению, не знали о журнальной заметке Адамса, как он, очевидно, не знал о книге Э. Высоцкого, в которой автором трактата «Происхождение источников» называется Перро (без инициалов), а расчет Перро излагается по второму изданию его книги в 1678 г. (Wisotzki, 1897, стр. 36).

прямую зависимость подземных вод от атмосферных осадков, подтвердив, таким образом, инфильтрационную теорию образования подземных вод, выдвинутую еще Витрувием.

Измерения и расчеты, проведенные Перро и Мариоттом, применение ими балансового метода и их выводы заложили подлинно научную основу для дальнейшего изучения круговорота вод. Важный шаг в том же направлении принадлежит английскому ученому Э. Галлею (1656—1742 гг.). Исследования Перро и Мариотта, относившиеся к речным бассейнам, еще не давали прямого ответа на извечный вопрос о том, почему не переполняются моря и океаны, принимая сток многих рек. Объяснение этого факта только испарением считалось недостаточным, поскольку полагали, что испарение слишком незначительно. Но вот за исследование проблемы берется Э. Галлей, и он убедительно опровергает последнее мнение.

Как отмечает Э. Высоцкий, Галлей был первым, кто решил определить испарение с моря, чтобы сопоставить его с притоком речных вод. О своих исследованиях Галлей сообщил в статьях, опубликованных в «Философских трудах» Лондонского королевского общества в 1686—1687 гг. Объектом для расчета явилось Средиземное море. На основании опыта Галлей принял ежедневное испарение с моря в размере  $1/10$  дюйма, что по весу составляет 5280 млн. т воды. Для определения количества принимаемых морем речных вод Галлей за основу взял Темзу, ежедневный сток которой в среднем равен 20,3 млн. т. Затем он предположил, что девять важнейших рек, отдающих свои воды средиземноморскому бассейну (Эбро, Рона, Тибр, По, Дунай, Днестр, Днепр, Дон и Нил), имеют сток, в 90 раз больший стока Темзы, т. е. 1827 млн. т. Из сопоставления количества испарения с моря с количеством стока в него следует, что испарение в 3 раза превышает сток.

Этот важный результат не мог не привлечь внимания к себе, поскольку он убедительно показал, какое огромное количество невидимого пара под действием солнечного тепла уходит в атмосферу и насколько объем речных вод меньше объема испарения.

Соотечественник Галлея капитан Дж. Перри, работавший по приглашению Петра I в России в 1698—1715 гг., в своей книге «Состояние России при нынешнем царе», изданной в Лондоне в 1716 г., замечает, что русские реки более многоводны, чем предполагают, но в целом расчет Галлея он признает правильным и вполне разделяет его мнение о причине того, почему моря не переполняются. Следуя примеру Галлея, Перри пытался определить водный баланс Каспийского моря, ради чего он в августе 1700 г. впервые измерил сток Волги ниже г. Камышина. Он не имел данных об объеме испарения с Каспийского моря, но, в согласии с Галлеем, утверждал, что «Каспийское озеро, или море, не имеет никакого подземного сообщения с океаном; следовательно, понижение уровня воды, находящейся в этом море, нельзя объяснить не чем иным, как силою испарения, обусловливаемого лучами солнца и влиянием ветров» (Перри, 1871, стр. 69).

Таким образом, Галлеем впервые было научно объяснено казавшееся загадочным в течение многих веков явление постоянства уровня океана. В. И. Вернадский по справедливости выделил роль Э. Галлея в познании круговорота воды в природе или, по его, Вернадского, определению, основного равновесия. «Галлей ясно понимал,— писал В. И. Вернадский,— что вопрос идет об одном из важнейших равновесий в биосфере, «grand Phenomenon», как он говорил» (Вернадский, IV, 2, 1960 г., стр. 213).

Исследования Перро, Мариотта и Галлея позволили отрешиться от неправильного мнения о снабжении истоков рек морской водой благодаря существованию подземных каналов; не стало нужды и в усложненном варианте этой теории с предварительным превращением морской воды в пар и последующей конденсацией его в земных пустотах.

Ф. Адамс отмечает (Adams, 1928a), что заметную роль в исследовании проблемы сыграл итальянский ученый, ректор Падуанского университета А. Валлисниери (1661—1730 гг.), опубликовавший в 1715 г. сочинение «К происхождению источников». Находясь под большим впечатлением, которое произвели на него исследования французских ученых, он решил отправиться в Альпы, где берут начало многие итальянские реки, и выяснить, каких результатов можно добиться в изучении вопроса о происхождении рек, проследив некоторые из них до их истоков. Хотя его наблюдения не сопровождалось измерениями, они отличаются содержательностью и лишены вымыслов, а потому достойны того, чтобы уделить красочному описанию их (по Адамсу) должное внимание.

Выше линии растительности Валлисниери обнаружил раздробленные скалы и нависающие утесы, пропасти, обрывы, трещины, огромные долины, провалы, выбоины, ущелья, теснины с многочисленными водоемами и хранилищами, в которых собиралась вода. Он увидел, что вода не била с силой из земли, но всегда журчала или стекала вниз по склонам маленькими ручьями. Затем последовали линия снега и огромные скопления снега и льда над ней, образующие «вечные резервуары», из которых вода стекала в виде небольших потоков, пропитывающих землю и наполняющих ручьи, уносящие дождевые осадки, выпавшие на более низких склонах. Было ясно, что ручьи и реки питались дождем и таянием снегов.

В районе горы Св. Пеллегрини он обнаружил, однако, удивительное явление. Здесь снежные поля были очень обширны. Но потоки, текущие из них по горам к Модене, немногочисленны и малы. Он выразил свое удивление по этому поводу некоторым горным пастухам, которые показали ему много мест, где воды таявших снегов уходили в щели скалистой поверхности земли, через которые они, очевидно, и прокладывали путь как невидимые подземные потоки к более низким местам, — и он стоял, по выражению Данте, «как человек, чьи сомнения разрешились, чей страх перешел в покой, потому что истина открылась ему»; ему вспомнились чудодейственные колодцы и источники Модены, о которых шло с древности так много споров и которым философы, как они ни старались, не могли найти объяснения, не видели причины появления здесь подземных рек. Некоторые предполагали наличие подземных огней, дающих пары, конденсация которых дала эти воды, другие — наличие огромных переронных кубов в примыкающих холмах, наконец, были и такие, которые видели здесь действие сложного механизма, до сих пор неизвестного в природе. Но вот открылось решение загадки: потоки с вершины горы Св. Пеллегрини стекали вниз по подземным каналам и проходили под Моденой к Болонье.

Так Валлисниери и некоторые другие современные ему наблюдатели оказались способны показать, что вода, накопленная вследствие дождя и таяния в горах, не только стекает в виде рек, но может идти под землей под непроницаемыми пластами и вновь выходить на поверхность на низких местностях, когда прерывается протяженность пласта. Дальнейшие изучения показали этим наблюдателям, что эти пласты часто входят в складки, где они могут принять даже вертикальное положение. Таким образом, вода, выпадающая в горах, может войти в определенные пласты и идти в них, пока не достигнет уровня моря или более низкой местности, а затем может подняться по законам гидростатики высоко над уровнем моря и образовать родники в неожиданных местах.

Не следует, однако, думать, что измерения и расчеты Перро, Мариотта, Галлея и последовавшие за ними наблюдения других исследователей сразу же положили конец спорам о генезисе речного стока и о круговороте воды. До окончательного утверждения взгляда об атмосферном происхождении и питании рек научной мысли пришлось преодолеть пережитки старых взглядов, проявлявшихся на протяжении XVIII и даже в XIX в.



Мы уже говорили о возражениях Плото против выводов Перро и о трактовке Фонтаны. Приведем еще такой факт.

В 1740 г. Академия наук в Бордо проводила конкурс на лучшее сочинение по вопросу о происхождении подземных вод. Премии был удостоен данцигский профессор Кюн. В сочинении, опубликованном в 1746 г., Кюн излагает теорию, вполне аналогичную теории А. Кирхера, т. е. отстаивает взгляд, согласно которому морская вода по каналам проникает внутрь Земли, где под действием внутреннего тепла превращается в пар, который в горных пустотах, близких к поверхности, снова конденсируется в воду. Но, конечно, приверженцев старых взглядов становилось все менее и менее, а новые представления все более укреплялись, приобретая сторонников в лице выдающихся естествоиспытателей. Так, Ж. Бюффон во «Всеобщей и частной естественной истории», в разделе ее первой части, посвященном «Истории и теории Земли» и датированном 1744 г., пишет, что реки и источники «начало свое приемлют от паров, кои от солнечной теплоты над поверхностью морскою вверх поднимаются и ветрами разносимы бывают по всей Земли» (Бюффон, I, 1789 г., стр. 116), и что «когда дождь идет или снег тает, то одна часть течет по поверхности Земли, а другая по узким в Земле и камнях находящимся расселинам продирает в недра Земли, и когда находит себе исход, в разных местах пробивает или сквозь песок пробирается» (там же, стр. 117). Испарение с океана он считал в пределах 100—150 см; 50—53 см испарившейся и перенесенной на сушу воды достаточно, как и считал Галлей, «к произведению всех рек и к содержанию всех вод на поверхности земной находящихся» (Бюффон, II, 1790 г., стр. 24). Со ссылкой на книгу Дж. Кейла «The examination Burnet's theory» (Лондон, 1734 г.) Бюффон приводит в «Естественной истории» подсчет стока рек земного шара, приняв за меру его годового объема, как и Риччиоли, сток р. По. Получив объем воды, доставляемой реками в океан, в размере 26 308 кубических итальянских миль в год, что при принятом значении мили около 1,75 км (применялось несколько разных миль) равно примерно 140 тыс. км<sup>3</sup>, и считая, что океан вмещает 21 372 626 куб. миль, Бюффон приходит к заключению: для наполнения порожнего океана «потребны только 812 лет» (там же).

Приведем еще высказывания Бюффона, относящиеся к загадочной в то время проблеме Каспийского моря. По-видимому, через А. Олеария (1599—1671 гг.), известного немецкого ученого, «голштинского Плиния», как его называли, совершившего в 1636—1639 гг. путешествие через Россию в Персию, среди натуралистов Западной Европы распространилось мнение (высказанное еще древними) о существовании каналов, через которые воды Каспийского моря отводятся в океан. В главе «О свойствах Гирканского или Каспийского моря» книги Олеария «Описание путешествия в Московию и через Московию в Персию и обратно», изданной впервые в 1647 г., Олеарий пишет, что по сведениям, полученным от персов, между Табристаном и Мазандараном, недалеко от Ферабата имеется большая пропасть, куда устремляется море. Сам Олеарий, не опровергая сообщения персов, вопрошает: «Но что может значить этот единственный выход при столь многих впадающих реках?» (Олеарий, 1906, стр. 443). Приведя мнения древних авторов и своих современников о проблеме связи между собой вод морей и рек, Олеарий заключает, что с Каспийским морем «происходит то же, что и с величайшим морем и реками» (там же), а именно, что его воды проходят по внутриземельным каналам, как кровь по венам животных, и, опресняясь, выходят на поверхность в виде ключей.

Но вернемся к Бюффону. Не разделяя мнения о стоке вод Каспийского моря в океан, поскольку «может испарением убывать столько воды, сколько вливается в него, он все же считал необходимым в своем обращении к Петербургской академии наук с рядом вопросов о Каспийском

море спросить также: «есть ли пучины в Каспийском море или нет?» На этот вопрос канцелярия Академии наук послала Бюффону следующий ответ, полученный ею в марте 1749 г. от Астраханской губернской канцелярии: «В Каспийском море никогда пучины не встречаются; по чему и не означены они на морских картах и никто из морских офицеров их не видывал» (Бюффон, II, 1790, стр. 275).

Далее укажем на то, что И. Кант в своем сочинении «Вопрос о том, стареет ли Земля с физической точки зрения», опубликованном в 1754 г., писал, что «все реки берут свое начало от дождя и им питаются» (Кант, I, 1963, стр. 104) и что 2/3 дождевой воды возвращаются в океан, а 1/3 отчасти испаряется, отчасти идет на питание растений.

Большой интерес к изучению вопросов, относящихся к влагообороту, имел Дж. Дальтон, опубликовавший в 1802 г. статью «Experiments and observations made to determine whether quantity of rain and dew is equal to quantity of water carried off by rivers and raised by evaporation with an inquiry into the origin of springs» («Опыты и наблюдения, сделанные для определения, равно ли количество дождя и росы количеству воды, выносимой реками и испарением, с исследованием происхождения источников»). В ней имеется первая попытка определения водного баланса для территории Англии. Дальтон нашел, что высота слоя осадков на территории Англии составляет 36 дюймов в год, а годовой объем стока в океан всех рек выражается высотой 13 дюймов. Следовательно, 23 дюйма осадков должны расходоваться на испарение, что оказалось только на 2 дюйма меньше количества, определенного им же. Таким образом, можно было считать, что равенство осадков сумме стока и испарения было несомненным.

Отметим, что в конце XVIII в. шведский ученый Т. Бергман на основании данных голландского физика П. Мушенбрука о 40-летних измерениях испарения в Утрехте (26 дюймов) и данных об испарении в Париже (30 дюймов) подсчитал годовое испарение с Мирового океана, приняв высоту слоя испарения со всей поверхности земного шара в 30 дюймов (750 мм), а отношение площадей океана и суши, как 1:1 (Бергманново естественное землеописание, 1791, стр. 118).

Остановимся теперь на взглядах русских ученых того времени на рассматриваемую проблему. Выше говорилось, что широкое распространение в России имела «География» Б. Варения, в которой много места отведено гидрометеорологическим явлениям и круговороту воды. Варений, как уже было сказано, в вопросе о питании рек склонялся к тому, что оно обеспечивается главным образом благодаря соединению истоков рек с морями подземными каналами. Но в труде русского академика Г. В. Крафта «Руководство к математической и физической географии с употреблением земного глобуса и ландкарт» мы находим вполне правильную трактовку автором вопроса о круговороте воды.

Крафт пишет: «Понеже столь великое множество воды непрерывным течением из источников выходит, то с великим тщанием старались исследовать, откуда она берется» (Крафт, 1764, стр. 278). И далее, критически рассмотрев различные мнения, он присоединяется к тем ученым, которые, «по елику известно, что морской воде надлежит опять возвращаться к источникам, и море от втекающих рек ни прибывает, ни убывает, то из сего заключили, что из моря на всякий день столько паров выходит, сколько в него воды реками втекает; что оные пары носятся ветром по всему земному шару и что таким образом от опустившихся паров, а особливо на горах, от дождя, снегу и росы источники получают опять воду» (там же).

В рассматриваемые годы развивалась выдающаяся научная деятельность М. В. Ломоносова. Хотя у него нет общих высказываний о круговороте воды в целом, но если объединить его мысли по поводу отдель-

ных стадий влагооборота, станет несомненным, что он ясно представлял себе взаимосвязь подземных и поверхностных вод и их зависимость от атмосферных осадков.

В сочинении «О слоях земных» (1763) Ломоносов пишет, что, по опыту рудокопов, «в сухие и бездождевые годы минеральные воды в рудниках не так одолевают, как в дождливые» (Ломоносов, VII, 1934, стр. 266), а по поводу питания рек он говорит, «что течение великих рек требует великого земель пространства, откуда бы водам довольно собраться можно было» (там же, стр. 346).

В истории выработки представлений о круговороте воды большое место занимала проблема водного баланса Каспийского моря, являвшаяся в течение долгого времени столь же загадочной, сколь загадочным был вопрос об истоках и причинах разливов Нила. Выше было сказано о том, что писал о Каспийском море Олеарий, о правильном подходе к проблеме Перри, об интересе к ней Бюффона. Надо сказать, что в русской литературе в рассматриваемое время все еще не было единого мнения о факторах, определяющих колебания уровня моря; некоторые ученые допускали связь Каспийского моря с океаном через подземные каналы.

Наличие «подземных пучин» в заливе Кара-Богаз-Гол признавал В. Н. Татищев (1686—1750 гг.). Но вместе с тем он указывал на «другое обстоятельство сего моря, весьма прежде неизвестное, что в нем вода через 30 или 35 лет прибывает и через столько же убывает» (Татищев, I, 1793, стр. 267). Татищев допускал, что изменения уровня Каспийского моря находятся в зависимости от колебаний климата. Так, он писал: «...есть ли не обманываются обыватели (которые, не имея никакой науки, легко погрешить могут), якобы при высокой воде в море стужа, а при низкой жары около оногo умножаются» (там же, стр. 185). Г. В. Крафт утверждал, что «Каспийское море к своему содержанию в подземных реках нужды не имеет» (Крафт, 1764, стр. 161). Но в то же время П. И. Рычков в своей замечательной «Топографии Оренбургской», вышедшей в 1762 г., высказывал противоположное мнение. Признавая наличие подземных протоков, соединяющих Каспийское море с другими морями, Рычков по поводу попытки Перри определить водный баланс Каспийского моря скептически замечал, что «оное более за хитрость и остроумие, нежели за истину, принять можно» (Рычков, 1762, стр. 205). В словаре Ф. А. Полунина, вышедшем в 1773 г. под названием «Географический лексикон Российского государства...», в статье о Каспийском море мнение о «пучине» в Кара-Богаз-Голе представляется как ошибочное, а попытки определения «сметы» (водного баланса) моря уже не вызывают скептического отношения.

Известно, какое большое значение в изучении природы России имели так называемые академические экспедиции 1768—1774 гг.

Участники экспедиции собрали огромный фактический материал, но вместе с тем в своих трудах они стремились выяснить связь и взаимозависимость явлений природы. Основываясь на фактических наблюдениях, Паллас, Лепехин, Гмелин высказывают соображения и по вопросу о круговороте воды в природе, останавливаясь при его обсуждении и на проблеме Каспийского моря.

И. И. Лепехин, рассматривая конкретный факт питания р. Белой, вытекающей из гор, писал: «Все уральские истоки из высоких мест и из гор, болотины представляющих, начало свое имеют; почему неотменно нужно теперь сказать: откуда на высоту гор вода забирается». Отмечая, что «о сем ученые люди различно думают», И. И. Лепехин говорил, что «гора Ирямяль многие показывала доводы, чтобы утвердиться на мнении тех, которые морским парам, производящим источники рек, воздушную определили дорогу. Они думают, что морская вода, поднявшись парами, носится по всему земному шару, которые, дошед до угористых мест, опускаются как в холодном месте, и скопясь составляют вершины рек» (Ле-

пехин, II, 1771, стр. 145). Что касается равнинных рек, то они, по мнению И. И. Лепехина, также питаются горными водами, приходящими в низины подземными путями. Такое же высказывание о круговороте воды мы находим у П. С. Палласа. Большие запасы воды в горах Южного Урала он объяснял так: «Всеконечно главная сему причина — ход облачных туманов и вздымающихся паров, которые к сим лесистым на высоком месте лежащим и сверх того еще другими великими холмами возвышенным горам течение свое имеют; следственно, и то не удивительно, что сии горы не только много источников и ручьев рождают, но и многие свои подземельных вод сокровища на лежащую к востоку равнину изливают» (Паллас, II, 1, 1786, стр. 92).

Относительно водного баланса Каспийского моря были высказаны различные мнения. «Фисики и философы, — писал Лепехин, — ломают и по сие время свою голову, дабы изъяснить, каким образом Каспийское море, принимая в себя воды толь многих и великих рек и не имея никакого явного сообщения с другими морями, без очевидной прибыли быть может» (Лепехин, II, 1771, стр. 519). Он становится на сторону тех, кто ошибочно полагал, что вода уходит из моря через «подземные проходы». С. Г. Гмелин в главе «О Каспийском море» писал: «весьма справедливо, что по всеобщим законам природы почти столько ж из него воды парами выходит, сколько от знатного числа отсюда втекающих больших, посредственных и малых рек получает, и сие самое исхождение паров как опять в реки превращается, так по свойству ветров в ближайших горах пропадает, и в дожде, снеге, росе, тумане и прочем оказывается» (Гмелин, III, 2, 1785, стр. 337). Вместе с тем он считал, что часть воды отводится из моря «через подземельные каналы». Правильный взгляд относительно водного баланса Каспийского моря был высказан П. С. Палласом, который, отвергая существование «подземельных протоков», считал, что уровень моря зависит только от притока в него речных вод и от испарения с его поверхности. В доказательство невозможности расходования Каспийским морем воды подземным путем Паллас приводил то простое соображение, что его уровень стоит ниже уровня океана.

Таким образом, у русских ученых к концу XVIII в. также вырабатывается вполне правильный взгляд на круговорот воды на Земле, на происхождение источников и рек.

В заключение необходимо коротко сказать о некоторых успехах гидрометеорологии в рассматриваемое время. Не ставя перед собой задачи освещения истории гидрометеорологии, здесь мы остановимся на ее достижениях лишь постольку, поскольку в них выводы из гидрологических исследований о круговороте воды нашли свое подтверждение и обоснование. Существенные успехи были достигнуты во второй половине XVIII в. в выяснении проблемы влажности воздуха, т. е. содержания в нем водяных паров, — проблемы, оказавшейся, как замечает А. Х. Хргиан, довольно трудной вследствие того, что в то время само понятие влажности воздуха было неясным (Хргиан, 1959, стр. 90). Не следует забывать, что до 1775 г. состав воздуха, а до 1783 г. состав воды еще не были известны и большинством ученых они считались простыми элементами. Конечно, существование невидимых водяных паров в воздухе было известно давно. Еще Декарт в своих «Метеорах» писал, что «не следует сомневаться в том, что воздух часто может содержать иногда столько же или больше паров, когда их совершенно не видно, чем когда они видны». Но, как уже говорилось, он вместе с другими учеными его и более позднего времени признавал взаимопревращение воды (пара) и воздуха, а также, в духе Аристотеля, считал, что сами пары могут быть более или менее влажными и даже настолько сухими, что они, встречаясь с влажными телами, «могут изгонять из них и уносить с собою находящиеся в них частицы воды и таким образом их высушивать» (Декарт, 1953, стр. 203). Как уже говорилось, его современник Ван-Гельмонт, введший понятие

газа, отличал газы от атмосферного воздуха и от водяных паров, которые, однако, при весьма ясном небе «действием холода и под влиянием звезд» могут превращаться в газы. При таком понимании газа и пара понятие влажности воздуха было неопределенным.

Выше уже говорилось о создании учеными Академии опыта первого, имевшего практическое значение, гигрометра. Усовершенствование этого прибора в XVIII в., как и исследование самой проблемы влажности воздуха, связано прежде всего с именами французского ученого Ле Руа (1726—1779 гг.), уподобившего испарение растворению солей в воде, введшего понятие «градуса насыщения воздуха» и предложившего психрометрический метод измерения влажности (по показаниям сухого и смоченного термометров), швейцарцев братьев Ж. Делюка и Г. Делюка (1729—1812 гг.) и особенно О. Соссюра, который установил связь между «градусом» гигрометра, температурой и весом водяных паров, содержащихся в единице объема (Хргиан, 1959, стр. 44). Но следует сказать, что Ж. Делюк, не признававший, как отмечалось, сложного состава воды, пытался объяснить большую часть атмосферных явлений «преобразованием воды, растворенной посредством теплоты, в воздух и, наоборот, переходом воздуха в воду, при постоянном содействии электричества» (Спасский, Страхов, 1951, стр. 298). К началу XIX в. относятся исследования водяного пара, проведенные Дж. Дальтоном. В частности, в 1802 г. он дал первую приближенную формулу испарения с водной поверхности в неподвижную атмосферу (диффузное испарение), выразив величину испарения в прямой зависимости от дефицита влажности и в обратной — от барометрического давления. Не просто было ученым XVIII в. объяснить многие метеорологические явления, если, как указывалось в главе I, впервые высказанная Ньютоном в 1730 г. мысль, что водяной пар легче воздуха, получила признание только в 70-х годах этого века. История представлений об испарении и образовании осадков в XVII—XIX вв. хорошо освещена У. Миддлтоном (1969).

Обращаясь к русской научной литературе, приведем объяснение процесса испарения, его механизма, имеющееся в «Руководстве к математической и физической географии» академика Крафта, впервые изданном в 1739 г., а также рассуждения на эту тему другого русского академика — Ф. У. Эпинуса (1724—1802 гг.). «Вся вода, — пишет Крафт, — как обтекающая землю в великом множестве, так и содержащая (ся) в телах, имеющих некоторую влажность, всегда заключает в себе много воздуха, который, как мы уже за известное полагаем, от теплоты расширяется. И так ежели воздух в самой малейшей частице воды от солнечного жару нагреется и сильно расширится, то наконец сделается из нее пузырек, который будет гораздо легче воздуха и который напоследок лопнет и подыметя на воздух. А понеже самый воздух чем выше, тем тоне, то помянутый пузырек подымается только до такой высоты, где воздух столь же легок, как и он; и тут он останавливается. Таким порядком выходят всякие пары, как из воды, так и из влажных тел» (Крафт, 1764, стр. 240).

Редактор второго издания книги Крафта (1764 г.) академик Эпинус справедливо критикует представление Крафта о процессе испарения, говоря, что его рассуждение «еще не совсем доказывает подлинное исхождение паров» (там же). Он не считает, что частица пара представляет собой воздушный шарик, окруженный скорлупой из воды, т. е. не разделяет теории, называемой везикулярной (от латинского *vesiculum* — пузырек), которая имела распространение в XVIII в. Он не разделяет мнения, что испарение происходит в результате нагревания воздуха, содержащегося в частицах пара, до температуры более высокой, чем температура окружающего их воздуха. Он, как и Ле Руа, сравнивает процесс испарения с растворением соли в воде или различных веществ в спирте, оставляя при этом в стороне вопрос о том, «откуда происходит распускаю-

щая сила»; впрочем, он верно замечает, что «в воздухе больше всего действует перемена теплоты и стужи» (там же, стр. 243).

Он также правильно считает, что воздух может быть не менее, а то и более влажен, «когда бывает чист и прозрачен», чем «когда наполнен бывает туманом и облаками».

Укажем еще на весьма важные исследования испарения льда, проведенные в 1808—1809 г. академиком В. В. Петровым. Его опытами, показавшими, что испарение льда происходит и при самых сильных морозах, было объяснено «происхождение различных водяных метеоров зимой». Он вслед за Дальтоном установил зависимость испарения от «сухости воздуха», давления воздуха и скорости ветра (Петров, 1821).

В результате указанных исследований к началу XIX в., как отмечает В. И. Вернадский, «основным достижением с точки зрения истории природных вод выдилось установление существования и огромной роли газообразной воды в атмосфере и ее отражение на всех процессах, идущих в биосфере» (Вернадский, IV, 1960, 2, стр. 258).

С испарением, с присутствием в атмосфере водяных паров связаны такие метеорологические явления, как роса, туман, облака. О них писали уже многие натуралисты древности. В начале нового времени причинами образования облаков и туманов интересовался Леонардо да Винчи, высказавший по этому поводу ряд верных мыслей, хотя он разделял представления античных мыслителей о переходе стихий друг в друга, в частности он, как уже отмечалось, считал возможным превращение воздуха в воду, и наоборот.

Вопрос об образовании гидрометеоров рассмотрен в сочинении Декарта «Метеоры», в котором имеются главы «О ветрах», «Об облаках», «О снеге, о дожде и о граде».

Декарт правильно считал, что туманы и облака состоят из мелких капелек воды (а не из пузырьков, как думали многие ученые еще в конце XVIII и даже в начале XIX в.) или частичек льда и что как облака, так и туманы «образуются лишь тогда, когда холод воздуха и обилие паров действуют вместе в одну сторону» (Декарт, 1953, стр. 232), причем пары «сгущаются или в туманы, если близкий к земле воздух очень холоден, или в облака, если он недостаточно холоден, так что они могут сгуститься лишь на большей высоте» (там же, стр. 233). Росу Декарт неправильно относил к падающим осадкам, по существу не отличая ее от дождя.

На значение росы в круговороте воды было указано в 1674 г. Галлеем в его сообщении, опубликованном в трудах Лондонского королевского общества<sup>1</sup>.

Указание на важную роль конденсации паров на холодной поверхности Земли в образовании источников Кейльгак ставит также в заслугу Ж. К. Деламерети, автору изданной в 1797 г. книги «Теория Земли», благодаря которому теория Мариотта об инфильтрационном происхождении подземных вод получила широкое распространение.

Однако, как отмечает В. И. Вернадский (Вернадский, IV, 2, стр. 259), правильное представление о процессе образования росы (в развитие мысли, высказанной еще в 1751 г. Ле Руа, что роса выделяется как излишек насыщающей воздух воды благодаря местному охлаждению) появилось только в 1814 г., после опытов английского врача В. Уэльса (1757—1817 гг.). Он показал, что выделение росы — следствие охлаждения пред-

<sup>1</sup> Эпинус, в связи с упоминанием Крафта о наблюдении Галлеем образования в ночное время росы на горах о. Св. Елены, замечает: «Не знаю, для какой причины в подтверждение сего приключения приводят обыкновенно в пример господина Галлея. Что с ним случилось на острове святыне Гелены, то весьма часто делается с астрономами в Европе, то есть, что роса на стекла зрительных труб ложится и бумагу смачивает» (Крафт, 1764, стр. 279). Из этих слов Эпинуса следует, что образование росы считалось явлением очевидным, не требующим ссылки на авторитет отдельных наблюдателей.

метов по причине теплового лучеиспускания суши в тропосферу. Из этого следовало, что источником росы наряду с водяным паром воздуха является также влага охлаждающихся предметов и живых организмов. Между прочим, об этом источнике росы русский физик П. И. Страхов писал в своей книге «Краткое начертание физики», изданной в 1810 г.: «Не без причины, однако, многие думают, что сия роса (роса, поднимающаяся по стеблям и ветвям.— *И. Ф.*) происходит более от испарения самих растений» (Страхов, 1810, стр. 213).

В самом начале XIX в. достижением гидрометеорологии явилось также выяснение строения и классификация облаков. Первая классификация облаков, в которой их форма правильно связывается с вертикальным строением атмосферы, была предложена в 1802 г. Ж. Б. Ламарком (1744—1829 гг.). Почти в то же время более обстоятельную классификацию облаков, явившуюся основой современной их классификации, дал английский метеоролог-любитель Л. Говард (1772—1864 гг.).

Скажем здесь еще о конденсации невидимого водяного пара в мелкие капельки воды, образующие облака. Как указывает У. Миддлтон, П. Кулье, проводивший в 1875 г. опыты по образованию тумана в закрытой колбе, впервые обратил внимание на то, что для образования облака необходима пыль. Исследованиями Дж. Айткена (1881 г.) это заключение подтвердилось. В природе, указал он, ядра конденсации водяного пара образуются благодаря выбросу в атмосферу с морскими брызгами мельчайших частиц соляной пыли, а также присутствию в атмосфере метеоритной и вулканической пыли и сконденсировавшихся газов. А. И. Грабовским установлено (1952 г.), что Мировой океан способен обеспечить хлоридами всю атмосферу, выбрасывая в нее с сильными ветрами свыше  $10^{10}$  т солей в год.

К концу рассматриваемого периода в научное сознание начинало входить и правильное представление о причинах образования дождей. Как отмечает Ч. Ляйель, английский геолог Дж. Геттон (1726—1797 гг.), автор опубликованного в 1788 г. труда «Теория Земли», высказал правильное предположение, что «когда два объема воздуха, имеющие различную температуру и насыщенные влажностью, смешиваются между собою, тогда образуются облака и дождь. Ибо, вследствие происшедшей от смешения этих двух влажных объемов воздуха средней температуры, избыток паров, первоначально удерживаемый в взвешенном состоянии теплейшим объемом, выделяется и если он довольно обилен, то падает в виде дождя» (Ляйель, I, 1866, стр. 231). Это предположение, очевидно, содержит в себе в зачаточном виде идею о взаимодействии воздушных масс холодных и теплых атмосферных фронтов, развившуюся впоследствии в метеорологическую теорию.

Далее следует сказать о проявленном в конце XVII — начале XVIII в. научном подходе к выяснению причин образования ветров, благодаря которым происходит перенос паров от мест испарения к местам выпадения осадков.

А. Гумбольдт отмечал, что «теория воздушных течений была утверждена в ее прочных основных началах тоже до окончания 17-го столетия» (Гумбольдт, II, 1851, стр. 340), указывая при этом на заслугу Бэкона, рассмотревшего «направление ветров в их зависимости от температуры и водяных метеоров». Но, как пишет А. Х. Хргиан, несмотря на то что общая система ветров земного шара уже в XVII в. была известна довольно хорошо и даже имелось до известной степени точное, хотя и чисто эмпирическое представление об общей циркуляции атмосферы, даже еще в XVIII в. имели распространение противоречившие друг другу представления о причинах движения воздуха и о связи между давлением атмосферы и ветром.

Основа научного взгляда на причины ветров была заложена работами двух английских ученых — Э. Галлея и Г. Гадлея. Галлей не только составил в 1686 г. первую карту ветров для всех океанов, но и в сочи-

нении «Историческое описание пассатов и муссонов» дал в основном научно правильное объяснение причин возникновения и направлений воздушных течений. Гадлей в мемуаре, относящемся к 1735 г., дал правильное объяснение пассатной циркуляции.

Наконец, необходимо отметить, что учрежденным в 1780 г. Мангеймским метеорологическим обществом была разработана программа наблюдений на метеорологических станциях, принятая по предложению общества к руководству станциями различных государств. Общество обеспечивало станции приборами и получало от них данные наблюдений, которые публиковало в так называемых «Эфемеридах». В метеорологическую сеть общества входили и три станции России, открытые, еще задолго до создания общества, в Москве, Петербурге и на Пышменском заводе около Екатеринбурга. Программой общества предусматривались наблюдения также за влажностью воздуха, осадками и испарением. К сожалению, Мангеймское метеорологическое общество, явившееся первым примером международного сотрудничества в познании природных явлений, просуществовало лишь до 1799 г.

Из сказанного следует, что к концу XVIII — началу XIX в. получает почти всеобщее признание взгляд, согласно которому осадки, конденсирующиеся из водяных паров атмосферы, принимаются за единственный источник образования стока рек и подземных вод. Вместе с тем на научную основу ставится исследование многих метеорологических явлений, связанных с проблемой круговорота воды в природе (испарение, влажность воздуха, образование гидрометеоров и облаков, выпадение осадков, ветры).

## ДАЛЬНЕЙШЕЕ ИЗУЧЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ. ВЫЯСНЕНИЕ ГЛОБАЛЬНОЙ СХЕМЫ И БАЛАНСА КРУГОВОРОТА ВОДЫ

### ИССЛЕДОВАНИЯ С НАЧАЛА XIX ДО ПЕРВЫХ ЛЕТ XX В.

Наблюдениями в рассматриваемый период были получены новые неоспоримые доказательства климатической природы круговорота воды, т. е. того факта, что выпадающих осадков с большим избытком достаточно для образования стока рек. Отдельные наиболее ранние наблюдения за водным режимом рек или, вернее, за колебаниями уровня воды в них, были начаты еще в первых десятилетиях XVIII в.<sup>1</sup> (например, на р. Неве у Петропавловской крепости с 1715 г., на Эльбе в г. Магдебурге с 1728 г., на р. Сене в г. Париже с 1732 г.). Однако только в начале XIX в. интересы судоходства на внутренних водных путях заставили обратить большее внимание на наблюдения за колебаниями уровней рек. Так, в ФРГ и ГДР лишь с 1811 г. имеются доброкачественные наблюдения за уровнем воды на судоходных реках (Келлер, 1965, стр. 74). В России до организации с 1875 г. планомерного изучения режима уровней водомерные наблюдения были начаты: на Немане у г. Смалининкай с 1812 г., на Волге у Нижнего Новгорода с 1820 г., на Каме у Дедюхина с 1826 г., на Днепре у Лоцманской Каменки с 1818 г., на Западной Двине у Двинска с 1816 г. Позже были организованы водомерные посты и в других пунктах названных и других рек.

Накапливались, хотя и очень медленно, также данные об осадках в бассейнах некоторых рек.

Ф. Араго одним из первых сделал прямое сопоставление десятилетних средних за год уровней Сены в Париже и количеств атмосферных осад-

<sup>1</sup> Доседавший до нас самый длинный ряд уровней, имеющий началом 860 год, относится к Нилу у о. Рода (Каир).



ков, по данным Парижской обсерватории за 1739—1853 гг. (с перерывами), и пришел к выводу, что «в Парижском бассейне сухой год должен представить одновременно минимумы низкой, высокой и средней воды» (Араго, I, 1866, стр. 324).

Начиная с первой половины XIX в. на некоторых реках были измерены расходы воды и сопоставлены с количествами осадков и их бассейнах, т. е. определены коэффициенты стока рек.

В работе Е. В. Оппокова «О водоносности в связи с атмосферными осадками и другими факторами стока» имеются следующие сведения о таких сопоставлениях (Оппоков, 1916). В 1834 г. Ф. Араго определил сток Сены в Париже в 196 мм, что составляло  $\frac{1}{3}$  выпадающих осадков, А. Хэмфрейс и Х. Аббот, проводившие в 50-х годах гидрографические работы на Миссисипи, нашли, что коэффициент стока этой реки составляет 0,25<sup>1</sup>. Известный австрийский географ А. Пенк, сравнивший в 1890 г. расходы Дуная в устье за период 1862—1871 гг. с количеством атмосферных осадков, выпавших в Венгрии, которая занимает больше половины всей площади бассейна Дуная, установил, что коэффициент стока реки за указанное десятилетие колебался от 0,2 до 0,4.

Весьма интересной явилась опубликованная в 1892—1893 гг. в США работа Ф. Х. Ньюэля «Results of streams measurments» («Результаты измерения стока»), в которой он наглядно показал прямую связь между стоком и осадками, изобразив распределение их по территории США в виде изолиний средних значений.

А. Пенк писал в 1896 г., что «карта атмосферных осадков в бассейне реки есть в то же время и карта речного стока в нем» (см. Оппоков, 1916). В опубликованной в 1898 г. статье «Потамология как отрасль физической географии» А. Пенк указал также на то, что по его исследованиям и исследованиям его учеников величина коэффициента стока следует за осадками.

Связь уровней рек и озер и метеорологических элементов нашла также подтверждение в вышедшем в 1890 г. труде немецкого ученого Э. Брикнера «Колебания климата с 1700 г.» В этом труде Брикнер не только показал указанную связь, но и установил существование периодических колебаний климата, а значит, и водности рек. Вспомним, что еще В. Н. Татищев, а затем и академик Г. В. Крафт отмечали определенную цикличность в изменениях климата с приблизительной продолжительностью циклов в 30—35 лет. Брикнер на основании обработки многочисленных метеорологических и гидрологических материалов пришел к выводу о чередовании во времени холодных и обильных осадками (влажных) периодов с периодами теплыми и сухими (бедными осадками), причем средняя с 1700 г. продолжительность периодов, считая от максимума до максимума или от минимума до минимума, оказалась равной примерно 35,5 годам. По Брикнеру, в XIX в. холодными и влажными были периоды 1806—1815, 1841—1855 и 1871—1885 гг., а теплыми и сухими — периоды 1820—1840 и 1856—1870 гг.

В России, как это видно из предыдущего текста, мысль об атмосферном происхождении и питании рек уже в конце XVIII в., так же как и в странах Запада, была преобладающей в научной литературе, касавшейся этой темы.

Во второй половине XIX в. и в самом начале XX в., когда благодаря метеорологическим наблюдениям, получившим с середины XIX в. заметное развитие (вспомним, что в 1849 г. была организована Главная физическая обсерватория), и измерениям стока на ряде крупных рек появилась возможность сопоставления стока с осадками, русскими учеными

<sup>1</sup> Американский океанограф М. Мори определил в те же годы, что Миссисипи выносит в океан 107 куб. миль воды в год при количестве осадков в ее долине 620 куб. миль в год, откуда коэффициент стока равен 0,17 (Мори, 1869).

также были опубликованы серьезные исследования, убедительно подтвердившие прямую зависимость речного стока от атмосферных осадков.

Большое научное значение имела работа М. А. Рыкачева «Колебания уровня воды в верхней части Волги в связи с осадками» (1892). Свои исследования М. А. Рыкачев производил в связи с просьбой судовладельцев, обращенной к Главной физической обсерватории, об организации службы предсказаний уровней воды в реках. На построенных им для Волги в Твери, Рыбинске, Костроме, Нижнем Новгороде и Верхнем Услоне совмещенных графиках колебания уровней в реке в многоводном 1888 г. и колебания в течение года осадков зависимость уровней воды от осадков оказалась вполне явственной.

Зависимость стока от климатических факторов, прежде всего от осадков, была неоспоримо доказана и в трудах крупного русского климатолога Е. А. Гейнца. Так, в опубликованной в 1898 г. работе «Об осадках, количестве снега и об испарении на речных бассейнах Европейской России» Гейнц утверждает, что «реки являются результатом большего или меньшего количества выпадающих осадков» (Гейнц, 1898, стр. 2) и что «величина питания рек есть функция разности количества осадков и испарения» (там же, стр. 43). В монографии «Водоносность бассейна верховьев Оки в связи с осадками» (1903) Е. А. Гейнц устанавливает, что коэффициент стока для верховьев Оки, по данным за 1884—1899 гг., изменяется в пределах от 0,12 до 0,30. В своем труде «Днепр и его бассейн» (1901) Н. И. Максимович, используя данные о стоке реки за 1870—1896 гг., находит, что коэффициент стока Днепра выше Киева равняется 0,353 (по вычислениям Е. А. Оппокова, произведенным позже, он оказался меньше — 0,242).

Крупный русский гидролог Е. В. Оппоков (1869—1938 гг.) посвятил исследованию проблемы зависимости стока рек от климатических условий ряд ценных работ, первой из которых была написанная им глава о гидрометрических исследованиях Западной экспедиции по осушению болот в вышедшем в 1899 г. очерке работ этой экспедиции. И в этой и в ряде последующих работ Оппоков убедительно показывает прямую зависимость от осадков как абсолютных, так и относительных значений стока. На рис. 30 воспроизводятся составленные Е. В. Оппоковым совмещенные графики колебаний осадков, потери осадков и стока в бассейне р. Днепра выше г. Киева за 1876—1908 гг. Этот рисунок взят из 2-го тома вышедшего в 1904—1913 гг. капитального труда Е. В. Оппокова «Режим речного стока в бассейне верхнего Днепра (до г. Киева) и его составных частях».

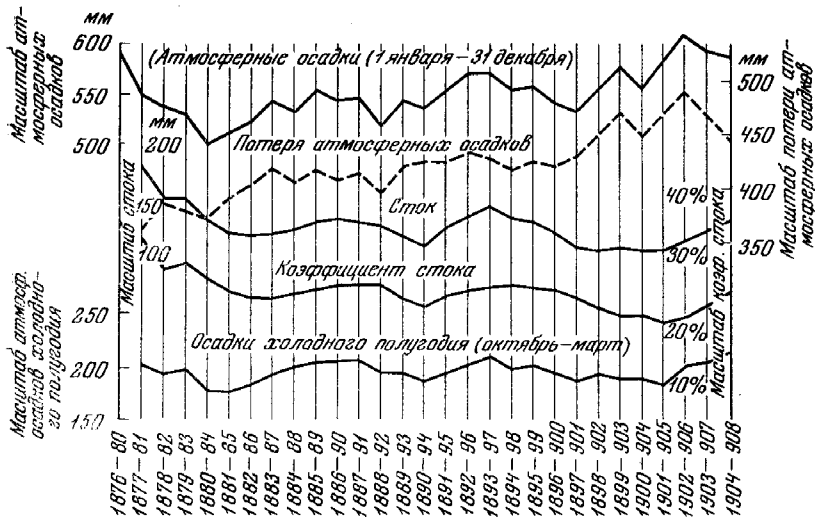
Выдающимся вкладом в разработку теории физической географии, основ климатологии и гидрологии и, в частности, в изучение проблемы круговорота воды явились труды известного русского ученого А. И. Воейкова (1842—1916 гг.).

Названные выше предшествовавшие обобщениям А. И. Воейкова исследования зависимости стока рек от осадков получили в его трудах глубокое объяснение, а последующие работы, посвященные этой проблеме, доставили новые доказательства научной обоснованности его выводов.

В 1884 г. был опубликован фундаментальный труд А. И. Воейкова «Климаты земного шара, в особенности России». В нем он обобщил имевшиеся к тому времени достижения метеорологии и гидрологии и свой многолетний научный опыт, высказал и развил много глубоких и оригинальных новаторских идей.

Рассматривая важнейшие факторы климата, он наряду с солнечной радиацией и циркуляцией воздуха отводит первостепенное значение также атмосферной влаге. А. И. Воейков подробно исследует все стадии влагооборота, отводя отдельные главы влажности воздуха, испарению, облачности, водным осадкам, рекам и озерам.

В главе о водных осадках Воейков говорит, что он смотрит на них, как «на противоположность испарения в круговороте воды на земном



Р и с. 30. Совмещенные графики колебаний осадков, потери осадков и стока в бассейне р. Днепра выше г. Киева в 1876—1908 гг.

шаре». Соотношение между этими противоположными процессами столь существенно, что именно оно определяет собой густоту речной сети и режим рек и озер. Это краеугольное положение гидрологии А. И. Воейков формулирует в следующих словах: «При прочих равных условиях, страна будет тем богаче текучими водами, чем обильнее осадки и чем менее испарение как с поверхности почвы и вод, так и растений. Таким образом, реки можно рассматривать как продукт климата. В странах малоисследованных, где нет дождемерных наблюдений или их число недостаточно, реки дают указание на обилие осадков, а изменение их уровня — на время, когда осадки обильнее, и обратно (Воейков, I, 1948, стр. 243) <sup>1</sup>.

А. И. Воейкову принадлежит первый научно обоснованный расчет водного баланса Каспийского моря. В расчете Воейкова замечательно то, что он на основании очень скудных данных получил близкую к действительности величину притока речных вод в Каспий, приняв его равным  $388 \text{ км}^3$  в год. В настоящее время он принимается равным примерно  $324 \text{ км}^3$  в год. На основании уравнения водного баланса Воейков получает испарение с моря равным  $1085 \text{ мм}$  в год, что также оказалось близким к истине. «Я думаю, — замечает Воейков, — что, несмотря на неполную точность цифр, послуживших мне для этого вывода, они дают более верное понятие об испарении с поверхности Каспия, чем те, которые можно было получить из наблюдений над испарителем» (там же, стр. 594). Отметим, что гидрограф Н. М. Филиппов в своей статье «Об изменении уровня Каспийского моря», опубликованной в 1890 г., хотя и говорит о балансе Каспия как разности притока в него речных вод и испарения с его поверхности, но тут же замечает, что «это одно приблизительное соображение». При этом свое единственно правильное объяснение изменений уровня Каспийского моря соотношением между притоком и испарением он называет «смелым предположением» (Филиппов, 1890, стр. 44).

Во второй половине XIX в. делаются первые попытки определения составляющих баланса круговорота воды для земного шара в целом.

Мы уже говорили о подсчетах годового стока рек, произведенных Риччиоли и Бюффоном и давших весьма преувеличенные результаты.

<sup>1</sup> Отметим, что еще М. Мори называл реки «огромными казенными мерами дождя» (Мори, 1869, стр. 72).

Определение стока рек земного шара с приемлемым приближением к действительности было произведено (ранее 1867 г.) К. Джонстоном. В своих подсчетах он исходил из количества осадков, выпадающих на суше, принимая определенную величину коэффициента стока. Он получил сток равным 64 тыс. км<sup>3</sup> в год.

Э. Реклю, находя цифру Джонстона преувеличенной, произвел в 1867 г. подсчет стока, исходя из фактических данных о расходах 26 крупных рек земного шара, бассейны которых составляют почти 1/5 площади периферических (т. е. имеющих сток в океан) областей суши. Суммарный расход этих рек он нашел равным 185 тыс. м<sup>3</sup>/сек, а расход всех рек со стоком в океан — близким 950 тыс. м<sup>3</sup>/сек. Следовательно, по Реклю, сток воды в океан составляет около 31 тыс. км<sup>3</sup> в год, т. е. в 2 раза меньше, чем по Джонстону (Reclus, 1870, 1870, стр. 495). Определяя в «Климатах земного шара» объем речного стока, А. И. Воейков считал его преувеличенным как у Джонстона, так и у Реклю (Воейков, 1948, стр. 251). По поводу подсчета Реклю он замечал, что общий расход рек, для которых не имелось фактических данных о стоке, должен быть принят не пропорциональным водосборной площади этих рек, а значительно меньшим. Определив размер годового стока рек равным 16,8 тыс. км<sup>3</sup> (исходя из 600 тыс. м<sup>3</sup>/сек среднегодового расхода), он допускал, что и в его подсчете имеется преувеличение. На самом же деле А. И. Воейков ошибался в сторону уменьшения стока по сравнению с принимаемым ныне объемом примерно в 2 раза<sup>1</sup>. Объясняется это тем, что отношение объема стока к осадкам на поверхность суши Воейков принимал равным всего 20%, тогда как по современным данным коэффициент стока близок к 1/3.

В 1887 г. Дж. Меррей по данным о расходах больших рек земного шара определил общий сток рек равным 25 тыс. км<sup>3</sup> (Merrey, 1887).

Постепенно уточнялись сведения и о количестве выпадающих на Земле осадков.

По расчетам А. Гумбольдта, высота слоя дождевых осадков в течение года составляет: под экватором 244 см, на широте 45° 74 см, а на широте 60° только 43 см.

Э. Ленц, считая возможным принять как среднее для всего земного шара высоту слоя дождя, выпадающего в Петербурге в течение года, а именно 1,5 фута, т. е. 457 мм, нашел (Ленц, 1851, стр. 111), что годовое количество осадков на Земле равняется 238 тыс. км<sup>3</sup>. В книге Ленца впервые в русской литературе появляется «Карта для показания распределения дождя по земной поверхности», на которой более влажные области имеют более темный цвет (без обозначения величин осадков).

Затем может быть названа опубликованная в 1860 г. в немецком журнале «Petermanns Mitteilungen» карта осадков на всей поверхности земного шара (без указания их значений, а лишь с качественной характеристикой девяти зон), которая наряду с другими данными об осадках, распределении давлений и ветров позволила Воейкову в статье «Атмосферная циркуляция, распределение атмосферного давления, ветров и осадков по поверхности земного шара» (1874 г.) дать первые обобщения, касающиеся связи осадков с атмосферной циркуляцией. Связь осадков с циркуляционными процессами, с циклонами и антициклонами нашла также обоснование в опубликованной в 1894 г. статье Воейкова «Круговращение воды в природе, осадки и испарение».

Спустя еще четверть века накопившиеся материалы позволили американскому метеорологу Э. Лумису впервые дать карту осадков только для суши (Loomis, 1882—1883). Дж. Меррей, подсчитавший по этой карте (1887 г.) среднюю величину годовых осадков, нашел, что она равна 840 мм (для всей суши, без разделения ее на области со стоком и без стока).

<sup>1</sup> Если число 16,8 исправить на 18,9, так как  $600 \text{ тыс. м}^3/\text{сек} \times 31,5 \times 10^6 = 18,9 \text{ тыс. км}^3$ .

Мировая карта с показанием количества осадков (дождя и снега) на суше по пяти градациям (менее 25 см, 25—60, 60—100, 100—150, более 150 см) и с выделением 14 областей, различающихся распределением осадков по временам года, дана Воейковым в книге «Климаты земного шара». Что касается осадков на океанах, то Воейков пишет: «На море были лишь немногие попытки измерить количество падавшей воды, и мы об этом явлении на морях знаем чрезвычайно мало, чтобы не сказать ничего» (Воейков, I, 1948, стр. 700).

Распределение осадков на океанах в первом приближении было дано на карте, составленной А. Зупаном и опубликованной в 1898 г. в «Petermanns Mitteilungen». Тогда же была составлена им и карта распределения осадков на материках, с градациями: менее 25 см, 25—50, 50—75, 75—100, 100—200, более 200 см; на этой карте наибольшее количество осадков хорошо совпадало с областями низкого атмосферного давления и областями горного рельефа.

Наконец, что касается испарения с континентов и океана, то к концу XIX в. сведения об этом были еще более ограниченными, чем сведения о стоке и осадках, что объясняется большой трудностью измерения их, особенно на море.

И, однако, несмотря на указанную ограниченность гидрометеорологических данных, накопленных к концу XIX — началу XX в., именно в это время появляется серьезная обобщающая работа Э. Брикнера, в которой впервые была предложена схема круговорота воды на земном шаре и даны количественные значения элементов баланса этого круговорота. Статья Брикнера «Баланс круговорота воды на Земле» была опубликована в 1905 г. в русском журнале «Почвоведение». В этой статье Брикнер писал: «Круговорот воды на земном шаре совершается двояко. С поверхности морей происходит испарение воды, пары ступают в атмосфере в облака и частью выпадают в виде осадков на море же, т. е. возвращаются в океан непосредственно. Это — малый круговорот воды. Но часть водяных паров переходит на сушу и выпадает только здесь на землю; поскольку эти осадки снова не испаряются, они поступают через реки в море, совершая таким образом большой круговорот воды». В балансе круговорота воды, составленном для среднего года, должны быть учтены следующие величины (в обозначениях Брикнера): годовое количество испарения с океанов и морей —  $V_m$ ; годовое количество осадков над океанами и морями —  $R_m$ ; годовое количество водяных паров в атмосфере, переходящих с океанов на сушу, —  $D_m$ ; годовое количество испарения с суши —  $V_l$ ; годовое количество осадков на суше —  $R_l$ ; годовое количество водяных паров в атмосфере, переходящих с суши на океаны, —  $D_l$ ; годовое количество воды, приносимое реками в океан, —  $F$ .

Приняв за исходное положение, что общее количество влаги на Земле остается постоянным и, следовательно, количество воды, поступающей с океана на сушу, возвращается в океан «не уменьшенным и не увеличенным», Брикнер выразил баланс круговорота воды в следующих равенствах:

$$R_m = V_m - D_m + D_l = V_m - (D_m - D_l) = V_m - F;$$

$$R_l = V_l + D_m - D_l = V_l + (D_m - D_l) = V_l + F.$$

При этом три величины в уравнениях были приняты как приблизительно известные: это — количество осадков на суше ( $R_l$ ), испарение с океанов и морей ( $V_m$ ) и объем речного стока ( $F$ ). Другие величины получались из уравнений.

Баланс глобального круговорота воды был представлен Э. Брикнером данными табл. 26.

Величину осадков на суше ( $R_l$ ) Брикнер принял по вычислениям Меррея (1887 г.), произведенным на основании карты осадков Лумиса

Таблица 26. Баланс круговорота воды на Земле, по Э. Брикнеру

Области и элементы баланса	Годовая величина		%
	тыс. км <sup>3</sup>	см	
<b>А. Вся земля (510 млн. км<sup>2</sup>)</b>			
Испарение с моря	384	75	80
Испарение с суши	97	19	20
Осадки на суше и на море	481	94	100
<b>В. Океаны (366 млн. км<sup>2</sup>)</b>			
Испарение с моря	384	105	100
Количество водяных паров, переходящих на сушу (netto) *	25	7	7
Осадки на море	359	98	93
<b>В. Периферические области сумм (114 млн. км<sup>2</sup>)</b>			
Поступление паров с моря (netto)	25	22	29
Испарение с суши	87	76	100
Осадки в периферической части суши	112	98	129
<b>Г. Области, не имеющие стока (30 млн. км<sup>2</sup>)</b>			
Испарение с бессточных областей	10	33	100
Осадки в бессточных областях	10	33	100

\* Т. е. разность между количеством водяных паров, переходящих с моря на сушу и с суши на море.

(1883 г.). Объем стока он также взял по вычислениям Меррея по данным о расходах 33 больших рек земного шара. Причем Брикнер считал, что точность этого вычисления находится в пределах  $\pm 50\%$ . Обе эти величины вскоре же, в 1906 г., были уточнены учеником Брикнера Р. Фрицше<sup>1</sup>. Подсчитав осадки на суше по более полной карте А. Зупана, Фрицше нашел их равными  $111\,940 \pm 160$  км<sup>3</sup>, причем  $101\,450$  км<sup>3</sup> относятся к частям суши со стоком (117 млн. км<sup>2</sup>) и  $10\,490$  км<sup>3</sup> к частям суши без стока (32 млн. км<sup>2</sup>). Определение величины стока Фрицше произвел на основании данных о расходах 52 различных рек и принял его равным  $30\,640$  км<sup>3</sup>. Испарение с океана Брикнер подсчитал, воспользовавшись данными об испарении с прудов и озер всего в 27 пунктах на различных широтах.

Схема Брикнера правильно отображает в основном сущность влагооборота, его звенья, хотя и вызвала замечания. Так, А. И. Воейков писал в статье «Испарение и осадки на морях и причины большей солености Атлантического океана по сравнению с другими океанами», что исключение из круговорота центральных частей суши, не имеющих стока к морю, является неправильным. «Куда же, — спрашивает Воейков, — девались реки бассейнов без стока к океану? Большинство этих стран очень сухи, и их реки не имеют много воды, но в бассейны двух величайших соленых озер, Каспия и Арала, текут могучие реки, эти бассейны не отделены горами от Атлантического океана, морей Балтийского, Средиземного и Черного, и пары с этих водоемов, конечно, доходят до Каспийского и Аральского бассейнов» (Воейков, III, 1952, стр. 478). Воейков также писал

<sup>1</sup> Реферат его статьи, составленный Е. В. Оппоковым, см. в журнале «Почвоведение» (1907, т. 9, № 1—4).

в 1894 г.: «Как велика доля океана и материка, иначе сказать, какое количество паров получает воздух внутри материка из того и другого источника, мы, конечно, точно не знаем.

Несомненно лишь одно: в полосе преобладающих западных ветров, которые доходят летом по крайней мере до Енисея, чем далее на восток, тем меньшее количество водяных паров воздуха принесено непосредственно с океана и тем больше материкового происхождения, т. е. происходит от испарения с поверхности почвы, растительности и внутренних вод материка» (там же, стр. 450). Мнение о большой зависимости осадков на суше от местного испарения в 1898 г. было высказано также известным немецким географом А. Зупаном (см. Каминский, 1925).

На мнение Воейкова ссылался Э. Брикнер, когда он на Международном географическом конгрессе в 1899 г. «старался привести доказательства», что осадки на суше в значительной мере образуются из местных, материковых паров, а затем, в своей схеме, пошел еще «дальше в намеченном ходе мысли». Брикнер писал: «Доставляемый океаном водяной пар в водном хозяйстве суши играет роль оборотного капитала, который много раз успевает обернуться, прежде чем вернется снова в океан. Уплата океану этого капитала, вероятно, в малой лишь части совершается через атмосферу в виде водяного пара, большую же частью происходит при посредстве рек» (Брикнер, 1905).

Надо сказать, что, как установлено позже, абсолютные количества влаги, переносимой атмосферой с моря на сушу и с суши на море, гораздо больше, чем речной сток. О. А. Дроздов считает, что в умеренных широтах адвекция водяного пара над сушей превышает количество выпадающих осадков для Евразии на 10—20%, а для Северной Америки — на 35% (Дроздов, 1959, стр. 2). Следовательно, мнение Брикнера, что основная масса переходящих на сушу с океана водяных паров расходуется на осадки в периферической части суши и уравнивается речным стоком, а большая часть осадков образуется в результате неоднократного испарения местной влаги, неправильно.

Признание того, что сток рек обязан только дождевым и снеговым осадкам, еще не решало вопроса об источнике питания подземных вод. П. Перро, один из первых авторов теории атмосферного питания рек, как и другие исследователи того времени, не считал, что и подземные воды происходят от атмосферных осадков, инфильтрующихся в грунт. Он, как и Сенека, считал, что дождевая вода не может проникать в почву и грунт на значительную глубину. И хотя еще в конце XVII и начале XVIII в. Э. Мариоттом и А. Валлисниери были приведены доказательства дождевого питания подземных вод и в XIX в. инфильтрационная теория была признана подавляющим большинством ученых, в течение этого века по вопросу о генезисе подземных вод не раз возникали дискуссии.

Как ни странно, но в начале века, говорит К. Кейльгак, нашелся ученый, который снова вышел на защиту представлений Кеплера о «жизненной функции» Земли (Кейльгак, 1935, стр. 60). Этим ученым был немецкий геолог Х. Кеферштейн, издатель журнала «Германия в геологическом отношении».

В 1821 г. он выступил в Обществе естествоиспытателей в г. Галле с докладом, который он в 1827 г. напечатал в своем журнале под названием «Опыт новой теории источников, в частности соленых». Кеферштейн, ссылаясь на Сенеку и Агриколу, а также на опыт садовников и земледельцев, утверждает, что вода не может проникать в почву глубже нескольких футов. Будь наоборот, говорит он, моря, озера, реки давно должны бы были исчезнуть в земных недрах. Он отвергает также возможность питания подземных вод морями или каким-либо неисчерпаемым водным бассейном, находящимся в глубинах Земли. Но если ни атмосферные, ни морские воды не могут быть источниками подземных вод,

то остается предположить, что они возникают в месте своего выхода на земную поверхность, причем в том количестве и с теми свойствами (температура, примеси), которые нами наблюдаются. Как это происходит? Кеферштейн старается доказать, что все горные породы обладают способностью впитывать воздух и, лишая его кислорода, выделять из себя «испорченный воздух», воду, углекислоту и другие газы. При этом образование воды вовсе не является химическим процессом, а должно рассматриваться как явление, вызываемое таинственной силой, одинаково присущей как животным и растениям, так и исполинскому телу Земли. Тот факт, что расход источников непостоянен, объясняется усилением или ослаблением деятельности органов Земли, а отнюдь не изменениями в количестве атмосферных осадков, которые, наоборот, сами зависят от изменений во внутренней, более обширной, чем внешняя, атмосфере.

В то время не было окончательно отброшено и другое фантастическое мнение о связи бьющих из земли ключей с находящимися в глубоких недрах огромными водными резервуарами. Это мнение особенно оживлялось в периоды больших наводнений. Так, когда в конце октября — начале ноября 1824 г. почти вся Германия испытала исключительно большое повышение уровня воды в реках, появление огромной массы воды в короткое время объясняли вытеснением ее из внутриземных резервуаров в результате каких-то геологических явлений. Но, как пишет Э. Ленц, в то время «нигде не было наблюдаемо ни малейших следов поднятия или понижения поверхности Земли» (Ленц, 1859, стр. 88). С другой стороны, продолжает он, тогда же немецкий метеоролог Шюблер измерениями и подсчетами показал, что причиной наводнения были сильные дожди, выпавшие в июле и августе и возобновившиеся в октябре. Ленц считал, что и вода ключей есть вода атмосферная.

В середине XIX столетия Эли де Бомон, развивая идеи Мариотта, «построил свою яркую и законченную теорию странствования воды в Земле и на ее поверхности» (Ферсман, 1914), согласно которой наряду с внешним круговоротом существует связанный с ним внутренний круговорот воды, в котором участвует та часть атмосферной и морской воды, которая просачивается в земные недра.

Однако другой крупный французский ученый — Ж. Бабине в очерках и научных наблюдениях, опубликованных в 1855—1863 гг., вновь отрицал возможность атмосферного питания подземных вод. Американский ученый Г. Марш, возражая ему, приводел доказательства в пользу мнения, что «подземные резервуары и течения, а также и ключи получают свои воды преимущественно через просачивание» (Марш, 1866, стр. 455).

Но наиболее решительно против инфильтрационной теории образования подземных вод выступил в 1877 г. австрийский инженер О. Фольгер (Volger, 1866). Его отрицание этой теории основывалось все на тех же доводах, которые приводились и его предшественниками, а именно, что атмосферные осадки не проникают глубоко в грунт и что в противном случае не существовало бы рек, озер и морей. Он выдвинул свой вариант конденсационной теории образования подземных вод, согласно которому вода проникает в грунт только в парообразном состоянии вместе с воздухом и конденсируется в жидкость вследствие разности температур на поверхности и на некоторой глубине, особенно летом, когда эта разность бывает большой.

Выступление Фольгера нашло и сторонников, и противников. Поскольку среди последних находились такие авторитеты, как Ю. Гапн и М. Вольпи, а доказательства Фольгера носили умозрительный характер, дискуссия оказалась не в пользу его теории. Содержащаяся в теории Фольгера рациональная мысль о конденсации в холодных порах грунтов паров атмосферы получила опытную проверку лишь спустя более 30 лет в исследованиях А. Ф. Лебедева и др. Инфильтрационная теория происхождения подземных вод осталась непоколебленной.



Что касается появившейся в конце XIX в. гипотезы Э. Зюсса об образовании подземных вод за счет выделения ювенильной воды из магмы, то о ней достаточно сказано выше, в разделе о происхождении воды на Земле.

Таким образом, исследования проблемы круговорота воды в рассматриваемый период завершаются неоспоримым подтверждением правильности взгляда об атмосферном питании рек и подземных вод, выработкой глобальной схемы влагооборота и определением количественных значений его баланса.

## ИССЛЕДОВАНИЯ XX в.

В течение прошедших десятилетий XX в. продолжалось уточнение количественной оценки элементов водного баланса земного шара, изучение физической сущности и механизма процессов испарения и образования осадков, связи между балансами тепла и влаги на земной поверхности, выяснение связи между водами биосферы.

Мы остановимся на исследованиях, имевших непосредственное отношение к проблеме круговорота воды и элементам его баланса на земном шаре в целом.

В 1909 г. В. Мейнардус в работе «О круговороте воды» определяет повторяемость и продолжительность круговорота. Принимая испарение на земном шаре, по Фрише, равным  $465\,000\text{ км}^3$  и определив количество влаги в атмосфере в  $12\,300\text{ км}^3$ , он находит, что влагооборот на Земле должен повторяться в течение года 38 раз ( $465\,000 : 12\,300$ ), т. е. водяной пар, находящийся в атмосфере, совершает свой кругоборот за 10 дней (Meinardus, 1911). Но, как замечает Р. Келлер (1965), этот кругоборот протекает интенсивнее, поскольку в образовании осадков участвует лишь часть атмосферы, т. е. не все содержащиеся в ней водяные пары.

Ценным вкладом в изучение элементов водного баланса явились работы другого немецкого метеоролога — Г. Вюста. В работе 1920 г. им дана картина распределения осадков на всем земном шаре, а также произведено сопоставление их с испарением по отдельным широтным зонам каждого из полушарий (Wüst, 1920).

В 1930 г. английские метеорологи К. Брукс и Т. Хент опубликовали наиболее полную сводку имевшихся к тому времени сведений об осадках на суше и в Мировом океане. Осадкам на Индийском и Тихом океанах в 1933 г. была посвящена работа немецкого гидролога С. Шотта. Вычерченные им карты изогий показали вполне очевидную связь распределения осадков на больших океанических просторах с общими закономерностями атмосферной циркуляции. Все упомянутые работы явились основанием для обобщающего исследования по водному балансу Земли, опубликованного в 1934 г. В. Мейнардусом (Meinardus, 1934). Основные черты и особенности новой карты осадков подробно рассмотрены в работе А. В. Вознесенского (1938), и мы приведем из нее основные данные. А. В. Вознесенский, рассматривая карту В. Мейнардуса, отметил ряд особенностей в распределении осадков на земном шаре. Мы остановимся на них, поскольку они в основном подтверждены и последующими исследованиями:

1) ось наибольших осадков почти совпадает с экватором; в наиболее теплом Индийском океане она смещена к югу приблизительно до  $7-8^\circ$  ю. ш.;

2) в Тихом океане она резко смещена на север, примерно на  $6-7^\circ$  с. в.;

3) области наибольших по площади осадков приходятся на обильную большими островами пограничную часть Тихого и Индийского океанов. Усиленное выпадение осадков в этой приэкваториальной полосе, между

90 и 150° в. д., очевидно, объясняется встречей воздушных течений различных температур;

4) Атлантический океан по характеру распределения осадков ближе всего примыкает к Тихому — здесь ось наибольших осадков расположена приблизительно около 5° с. ш. Вдоль этой полосы тянутся области приэкваториальных осадков как на западном берегу Африки, так и на восточном берегу Америки;

5) наряду с такой симметрией в распределении областей больших осадков в приэкваториальных частях всех трех океанов имеется симметрия и в расположении центров несколько меньших, но все же значительных осадков (свыше 100 см). Они намечаются лучше всего по западным берегам Америки, в Тихом океане, между 46 и 60° с. ш. и между 37 и 53° ю. ш. до оконечности Южной Америки;

6) указанные выше области усиленных осадков, как и области уменьшения их, совершенно совпадают с теми основными широтными зонами, которые намечаются схемой главных ветровых систем, так называемых планетарных. Главную роль в этом случае играют ветры вдоль экватора. На самом экваторе наблюдается узкая полоса затишья. По обе стороны ее вращением Земли вызываются параллельные экватору области восточных воздушных течений. По мере возрастания их устойчивости усиливается воздушная тяга, и на западных участках этой полосы ураганы, тайфуны и прочие ветры вызывают усиленное выделение влаги. По мере приближения к западным берегам Тихого и Атлантического океанов пути этих течений поворачивают преимущественно на север. В силу разностей температур моря и суши выделяются осадки и в смежных полосах моря. Эти области приэкваториальных осадков отличаются своей мощностью. Прилегающие по обе стороны от экватора довольно симметрично расположенные в пределах широт от 10 до 30° области осадков указывают на значительное разрежение дождевой деятельности у западных берегов континентов. Наличие в этих широтах огромных пространств, бедных осадками, целиком объясняется энергичной деятельностью пассатных ветров, особенно усиливающихся в периоды летнего нагрева земной поверхности.

Такое объяснение причин чередования областей больших и малых осадков по берегам океанов, пишет далее А. В. Вознесенский, само собой понятно. Гораздо сложнее распределение осадков внутри континентов, зависящее в общем не только от контраста температур воды и суши, но и от орографических особенностей континентальных массивов. Особенно хорошо прослеживается это взаимодействие по Евразии.

Сравнительно богато орошенные Ирландия и Норвегия представляют значительный контраст с соседними восточными окраинами Британских островов и Швеции. Так же резко падает количество осадков и на Иберийском полуострове по мере удаления от берегов океана на восток. Но на континенте при переходе от Нормандии к Альпийской горной стране и далее при переходе от Балкан через Черное море до Колхиды осадки столь же резко увеличиваются, с тем чтобы в окрестностях Каспия сойти до ничтожных величин (менее 25 см в год). Постепенное уменьшение осадков вдоль 40-й параллели, от берегов Европы до Внутренней Азии, указывает на зависимость осадков в этой части света от паров, идущих с запада. Чем дальше от Атлантического океана, тем беднее осадки. И только на самой восточной окраине Азии несколько возрастает их количество. Здесь ясно выражено влияние тех бордюрных островных цепей Восточной Азии, которые перехватывают осадки северо-западных частей Тихого океана и не допускают их до наших пределов.

«Само собою разумеется, — заключает А. В. Вознесенский, — что все данные карты Мейнардуса, частично дополненной и измененной нами в пределах Союза, не дают исчерпывающих указаний относительно переноса влаги, особенно в Евразии. Они слишком схематичны для этой

цели и односторонни, так как не затрагивают воздушных течений и обмена воздушными массами. Но все вопросы переноса влаги им намечаются...»

Из табличных данных работы В. Мейнардуса следовало, что наибольшие осадки на земном шаре выпадают в его северной части, а именно между  $5$  и  $10^\circ$  с. ш., где их толща составляет  $193$  см, причем этот максимум на море равняется  $214$  см, тогда как максимум на суше переходит в южные широты между  $5$  и  $10^\circ$  и равняется  $190$  см. Оказалось, что приблизительно около половины всех осадков земного шара, а именно от  $47$  до  $50\%$ , выпадает вблизи экватора — от  $20^\circ$  с. ш. до  $20^\circ$  ю. ш., причем на море несколько большее количество выпадает к северу от экватора, а на суше — к югу от него. В пределах от  $60$  до  $90^\circ$  обоих полушарий выпадает не более  $40\%$  всего мирового количества осадков, причем на долю Арктики приходится  $2,1\%$ , а на долю Антарктики — лишь  $1,9\%$ .

Что касается распределения выпадающей влаги по обоим полушариям, то разница между ними невелика: северное полушарие получает  $254\,000$  км<sup>3</sup>, а южное  $257\,000$  км<sup>3</sup>.

Годовой объем осадков на всем земном шаре, подсчитанный Мейнардусом по его карте, составляет  $511\,000$  км<sup>3</sup>, тогда как по Брикнеру (1905 г.) он равняется  $481\,000$  км<sup>3</sup>, по Фрицше (1906 г.) —  $465\,300$ , по Лютгенсу (1911 г.) —  $506\,143$ , а по Вюсту (1920, 1922 гг.) — только  $379\,200$  км<sup>3</sup>.

Из указанных  $511\,000$  км<sup>3</sup> на долю суши приходится  $99\,500$  км<sup>3</sup>, или  $19\%$ , а на долю океанов —  $411\,600$  км<sup>3</sup>, или  $81\%$ , тогда как суша и океаны занимают на поверхности Земли соответственно  $29$  и  $71\%$ . Следовательно, суша и абсолютно, и относительно получает меньше осадков, чем Мировой океан. Высота слоя атмосферных осадков оказалась для всего земного шара равной  $100,2$  см, для южного полушария —  $100,7$ , для северного —  $99,7$ , для суши —  $67$ , а для океана —  $114$  см.

Коэффициент стока, по данным В. Мейнардуса, оказывается равным  $0,37$ .

Средняя величина годового испарения со всей поверхности земного шара должна также равняться  $511\,000$  км<sup>3</sup>. Распределение этого количества между сушей и океаном определяется исходя из следующих данных. Испарение с поверхности суши равняется осадкам на сушу за вычетом речного стока. Так как осадки равны  $99\,500$  км<sup>3</sup>, а сток, по Вюсту,  $37\,100$  км<sup>3</sup>, то испарение с суши оказывается равным  $62\,400$  км<sup>3</sup>, или  $42$  см. Испарение с океанов складывается из суммы осадков на их поверхность, равной  $411\,600$  км<sup>3</sup>, и  $37\,100$  км<sup>3</sup> стока, составляя, таким образом,  $448\,700$  км<sup>3</sup>, или  $124$  см. А. В. Вознесенский писал, что по его расчету величина испарения с океана должна быть в пределах  $114$ — $134$  см или совпадать с данными В. Мейнардуса.

Баланс круговорота воды обстоятельно рассмотрен в монографии М. И. Львовича «Элементы водного режима рек земного шара», вышедшей в 1945 г.

Для определения величины стока М. И. Львович построил мировую (за исключением Антарктиды и мелких океанических островов) «Схематическую карту распределения годового стока» в масштабе  $1 : 75\,000\,000$  с градациями: менее  $5,5$ — $10$  см,  $10$ — $20$ ,  $20$ — $40$ ,  $40$ — $60$ ,  $60$ — $100$ ,  $100$ — $150$ , более  $150$  см. Для построения своей карты он воспользовался опубликованными в 1937 г. картами Б. Д. Зайкова и С. Ю. Белинкова по стоку рек европейской и азиатской частей СССР, картой Б. Д. Зайкова по стоку рек Европы (1938 г.) и картой стока рек США. Этими картами освещался сток  $1/4$  части суши. Рассмотрев все имевшиеся на то время фактические данные о стоке рек остальной суши, М. И. Львович нашел, что для многих областей они были недостаточными даже для построения схематической карты распределения годового стока. Поэтому для этих областей необходимо было при определении стока использовать имевшие-

ся метеорологические данные, а именно данные об осадках, испарении и температурах.

Определение стока по метеорологическим данным или, как его называет Львович, «климатического» стока было произведено по опубликованным В. Вундтом в 1937 г. графикам (Wundt, 1937) на основании данных об осадках в 700 пунктах. Таким методом средний годовой сток был вычислен для северной части Южной Америки, Средней Африки, Мексики, северной окраины Канады, южной половины Африки с Мадагаскаром, Китая, Индокитая, Японии, Зондских и Филиппинских островов и Австралии с Новой Зеландией.

Подсчитанные М. И. Львовичем (по его карте, с добавлением 700 км<sup>3</sup> стока Антарктиды), объемы стока оказались равными для всей суши 37 тыс. км<sup>3</sup>, для бессточных областей — 700 км<sup>3</sup> в год.

Средняя величина годового слоя осадков была определена М. И. Львовичем по опубликованной в 1939 г. в I томе Большого советского атласа мира карте осадков, составленной О. А. Дроздовым и значительно уточненной после издания атласа.

Средний для всей суши без Антарктиды слой годовых осадков был найден равным 775 мм, а с Антарктидой, где количество осадков принимается равным 100 мм в год, — 720 мм в год. При слое стока в океан 244 мм испарение со всей суши оказывается равным 476 мм.

Баланс влаги для отдельных склонов периферийной части суши и бессточных областей определяется Львовичем следующими данными:

Атлантический склон:	осадки 890 мм,	сток 316 мм,	испарение 574 мм
Тихоокеанский склон:	» 1040 »	» 394 »	» 648 »
Бессточные области:	» 240 »	» 21 »	» 219 »

Приняв осадки в Мировом океане по Мейнардусу, М. И. Львович по уравнениям определил и все другие составляющие водного баланса земного шара. Этот баланс (по схеме Брикнера) выражается данными, приведенными в табл. 27 (Львович, 1945, стр. 57).

Карта речного стока для всего земного шара в 1947 г. была составлена немецким гидрологом Ф. Альбрехтом. Особенностью этой карты явилось выделение районов питания атмосферы парами воды и основных путей переноса насыщенных влагой воздушных масс, обуславливающих районы наибольших значений годового стока на территории отдельных континентов (см. Немальцев, 1971, стр. 144). В работе 1960 г. годовой сток оценивается Альбрехтом в 33,5 тыс. км<sup>3</sup> (там же).

В 1954 г. Г. Вюст, исходя из уравнения водного баланса океана, дает значительно меньшую — 27,2 тыс. км<sup>3</sup> — оценку мирового стока по сравнению с его оценкой 1936 г. — 37 тыс. км<sup>3</sup>.

После второй мировой войны Главной геофизической обсерваторией было организовано широкое изучение радиационного и теплового баланса земной поверхности, что позволило создать карты составляющих баланса для поверхности всего земного шара. Одновременно в работах ряда советских исследователей обстоятельному анализу подверглась проблема связи балансов тепла и влаги, проблема, получившая сначала разработку в трудах А. А. Григорьева. Используя материалы по тепловому балансу, М. И. Будыко (1956) подсчитал, что среднее годовое значение испарения со всей поверхности земного шара составляет около 930 мм, чему, очевидно, равна и высота слоя годовых осадков — величина, которую, как говорит М. И. Будыко, не удавалось надежно определить из-за неточности данных об осадках на океанах.

В статье Л. И. Зубенок «Водный баланс континентов и океанов», опубликованной в 1956 г., для расчетов была использована появившаяся к тому времени мировая карта осадков О. А. Дроздова (Морской атлас, 1953) и мировая карта испарения, составленная автором статьи (там же) с использованием данных по тепловому балансу.

Таблица 27. Водный баланс земного шара, по М. И. Львовичу (1945)

Элемент баланса	Годовой объем, км <sup>3</sup>	Годовой слой		В % к осадкам отдельных частей земного шара
		в мм	в % к осадкам всего земного шара	
Периферийная часть суши (116 778 тыс. км <sup>2</sup> )				
Речной сток	36 300	310	7,0	36,5
Испарение	63 000	540	12,1	63,5
Осадки	99 300	850	19,1	100
Бессточные области суши (32 033 тыс. км <sup>2</sup> )				
Испарение	7 700	240	1,5	100
Осадки	7 700	240	1,5	100
Мировой океан (361 100 тыс. км <sup>2</sup> )				
Испарение	447 900	1240	86,5	108,8
Приток речных вод	36 300	100	7,0	8,8
Осадки	411 600	1140	79,5	100
Земной шар (510 000 тыс. км <sup>2</sup> )				
Испарение с океана	447 900	875	86,5	86,5
Испарение с суши	70 700	140	13,5	13,5
Осадки, или испарение на земном шаре	518 600	1015	100	100

Примечания:

1. Годовой слой притока речных вод в океан (100 мм) выражает отношение речного стока к площади океана.
2. Годовые слои испарения с океана (875 мм) и с суши (140 мм) получены делением объемов испарения с океана и суши на площадь всего земного шара.

Величина стока с континентов была вычислена по уравнению (Будыко, 1948, стр. 121)

$$f = r - \frac{1}{L}(R - P),$$

где  $f$  — сток в см/год;  $r$  — осадки в см/год;  $L$  — скрытая теплота испарения в б. кал/см<sup>2</sup> в год;  $R$  — радиационный поток тепла в б. кал/см<sup>2</sup> в год;  $P$  — турбулентный поток тепла между подстилающей поверхностью и атмосферой в б. кал/см<sup>2</sup> в год.

В результате были получены указанные в табл. 28 значения величин водного баланса суши, Мирового океана и земного шара в целом.

В 1970 г. Л. И. Зубенок опубликовала новые данные о мировом водном балансе. По этим данным, годовой сток с континентов оценивается в 46 тыс. км<sup>3</sup> вместо 38 тыс. км<sup>3</sup> по подсчету 1956 г. (Зубенок, 1970).

Годовой водный баланс отдельных океанов и всего Мирового океана рассмотрен в опубликованной в 1970 г. статье М. И. Будыко и Л. А. Строкиной.

Количество осадков на океан, подсчитанное по карте Л. П. Кузнецовой и В. Я. Шаровой, помещенной в «Физико-географическом атласе

Таблица 28. Водный баланс (см/год) земного шара, по Л. И. Зубенку

	Осадки	Испарение	Сток
Суша	70,0	44,6	25,4
Океан	102,4	112,7	10,4 (приток)
Земной шар	92,8	92,8	—

мира» (лист 42—43, 1964), принято равным 114 см, а количество испарения, определенное по карте в «Атласе теплового баланса земного шара» (1963), — равным 126 см, откуда сток в океан дает слой в 12 см на всю его поверхность или 29 см — на всю поверхность суши. Сток в отдельные океаны составляет: в Тихий — 7 см, в Индийский — 8 см, а в Атлантический в 3 раза больше — 23 см.

Водный баланс каждого океана зависит также от обмена водами между ними. Впервые данные об объемах водообмена в океанах были определены В. Г. Кортом (1962), согласно которому в океанах в течение года обмениваются водные массы, равные: в Атлантическом — 13 820 700 км<sup>3</sup>, в Индийском — 16 827 800, в Тихом — 16 702 400, в Северном Ледовитом — 440 000, в Мировом — 47 790 900 км<sup>3</sup>. Нельзя, к сожалению, не отметить, что, допустив ошибку в вычислении процентов объемов водообмена к общим объемам воды в океанах (уменьшив проценты в 10<sup>3</sup> раз), В. Г. Корт неправильно заключил, будто бы его данные «говорят о довольно быстром, в течение примерно нескольких сот лет, полном обмене вод в каждом океане». На самом же деле из его данных, например, для Мирового океана следует, что полный обмен вод в нем (перемешивание) происходит всего за 30 лет, поскольку  $47,8 \cdot 10^6 / 1370 \cdot 10^6 = 3,5\%$  (а не 0,0035%, как в статье).

В табл. 29 приведены данные об элементах водного баланса, опубликованные различными авторами в 1867—1973 гг., т. е. более чем за 100-летний период.

Остановимся еще на некоторых подсчетах элементов мирового водного баланса, опубликованных в последние годы, а именно на подсчетах И. Марцинека, Х. Пенмэна, Чанг Джен-ху и О. Гари, Р. Нейса и М. И. Львовича.

По определению немецкого гидролога И. Марцинека, обработавшего материалы непосредственных измерений стока, среднегодовая глобальная величина последнего равна примерно 37 тыс. км<sup>3</sup> (Marcinek, 1966). В подсчетах Марцинека учтено, в частности, что исследованиями стока самой многоводной реки мира, Амазонки, проведенными в 1963 г., установлена новая величина ее годового стока — около 7600 км<sup>3</sup>, в два с лишним раза превышающая принимавшуюся ранее (Рахманов, 1965). Это, конечно, существенно меняет оценку объема речного стока, поскольку сток Амазонки с учетом новых данных о нем составляет около 17% мирового стока.

По Х. Пенмэну, известному английскому исследователю проблемы испарения, автору одного из методов его определения, осадки на сушу составляют 71 см, испарение с нее — 47 см и сток в океан 24 см (Penman, 1970). Годовое количество осадков на океан он считает в пределах 107—114 см, испарение с них — 116—124 см. На поверхность Земли в целом в год выпадает 100 см воды, столько же испаряется (Пенмэн, 1972, стр. 64).

Чанг Джен-ху и Окимото Гари произвели оценку составляющих водного баланса суши, применив для подсчета испарения видоизмененный метод Пенмэна (в уравнение для определения испарения они ввели величину измеренной солнечной радиации, а не продолжительность солнечного

Таблица 29. Элементы мирового водного баланса (в округленных числах) \*

Автор	Год опубликования	Осадки, см			Испарение, см			Сток в океан	
		на сушу	на океан	на всю поверхность земного шара	с суши	с океана	со всей поверхности земного шара	в см с площади всей суши (143·10 <sup>6</sup> км <sup>2</sup> )	тыс. км <sup>3</sup>
К. Джонстон	До 1867	—	—	—	—	—	—	43	64
Э. Реклю	1867	—	—	—	—	—	—	21	31
А. И. Воейков	1884	68	—	—	—	—	—	13	19
Дж. Меррей	1887	84	—	—	—	—	—	17	25
Э. Брикнер	1905	85	98	94	67	105	94	17	25
Р. Фрицше	1906	75	98	91	55	105	91	20	30
Г. Вюст	1920	75	74	74	50	84	74	25	37
А. А. Каминский	1925	54	85	—	34	93	—	20	30
В. Мейnardус	1934	67	114	100	42	124	100	25	37
Г. Вюст	1936	67	82	78	42	93	78	25	37
М. И. Львович	1945	72	114	101	48	124	101	24	37
Г. Вюст	1954	—	89,7	—	—	97,3	—	18	27
М. И. Будыко, Л. И. Зубенко	1956	70	102	93	45	113	93	25	38
Ф. А. Макаренко	1959	—	—	—	—	—	—	20	30
Ф. Альбрехт	1960	—	105	—	—	114	—	22	34
В. Н. Степанов	1966	—	89	—	—	99	—	23	35
И. Марчинец	1966	—	—	—	—	—	—	24	37
С. П. Хромов	1968	72	112	100	41	125	100	31	47
Г. П. Калинин	1968	75	—	—	50	—	—	25	32 **
Л. И. Зубенко	1970	73	—	—	42	—	—	31	46
М. И. Будыко, Л. А. Строкина	1970	—	114	—	—	126	—	29	43
Х. Пенман	1970	71	—	—	47	—	—	24	37
Р. Нейс	1970	—	—	—	—	—	—	20	30
Чанг Джен-ху, Окимото Гари	1970	75	—	—	61	—	—	14	21
Г. П. Калинин, Л. П. Кузнецова	1972	72	—	—	47	—	—	25	35 ***
М. И. Львович	1973	76	114	—	48	125	—	28	41
ГГИ	1973	—	—	—	—	—	—	30	45
М. И. Будыко, А.А. Соколов	1974	80	127	—	48,5	140	—	31,5	47

\* В таблицу не включены наиболее ранние оценки объемов стока, принадлежащие Риччиоли и Бюфону.

\*\* С площади 128 млн. км<sup>2</sup>.

\*\*\* С площади 139 млн. км<sup>2</sup>.

го сияния, как у Пенмана). Величина испарения (табл. 29) получилась у них значительно большей, чем у других исследователей, и соответственно значительно меньшей оказалась величина стока (Chang Jen-hu, O. Gary, 1970).

М. И. Львович, ссылаясь на статью Р. Нейса 1968 г., указывает, что мировой речной сток он оценивает величиной 42,6 тыс. км<sup>3</sup> в год (Львович, 1972). Но в докладе Нейса на симпозиуме в Рединге в 1970 г. на тему «Современное состояние и перспективы глобальной гидрологии» мы находим обоснование значительно меньшей величины годового речного стока, именно 29 тыс. км<sup>3</sup>, причем он указывает, что эта величина выведена им из «имеющихся данных измерений (с учетом неопубликованных материалов)» (Нейс, 1972, стр. 19).

Обстоятельная разработка проблемы мирового водного баланса ведется в нашей стране в Институте географии АН СССР коллективом под руководством М. И. Львовича, в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (М. И. Будыко и его сотрудниками), в Государственном гидрологическом институте, в Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова (Г. П. Калинин и его сотрудниками), в Институте водных проблем АН СССР. Выше говорилось о монографии М. И. Львовича 1945 г. С тех пор разработка проблемы приобретает все большую широту и углубленность, а данные об элементах водного баланса количественно уточняются.

Основой исследования водного баланса отдельных территорий и земного шара в целом явилась предложенная М. И. Львовичем система дифференцированных уравнений водного баланса, позволяющая отдельно оценивать генетически разнородные части речного стока, его поверхностную (паводочную) и подземную составляющие (Львович, 1959; Львович и др., 1961; Львович, 1963). Итоги многолетних исследований нашли отражение в ряде работ М. И. Львовича, в том числе в докладе на симпозиуме в Рединге «Мировой водный баланс» (Львович, 1970) и в статьях «Водный баланс материков земного шара и балансовая оценка мировых ресурсов пресных вод» (Львович, 1972) и «Много ли пресной воды на Земле?» (Львович, 1973).

По сравнению с данными табл. 27 остается почти неизменной величина осадков на океан, но на 1,3 см должен быть повышен размер испарения с океана, поскольку оценка стока в океан возросла с 36 300 до 41 000 см<sup>3</sup>, т. е. на 4700 км<sup>3</sup>, в том числе на 1150 км<sup>3</sup> за счет повышения оценки стока воды и льда ледников.

К итоговой конференции по Международному гидрологическому десятилетию, проведенной в сентябре 1974 г. в Париже, Межведомственный комитет СССР по МГД выпустил обширную монографию «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли» (1974), основанную на результатах наблюдений, проведенных гидрологическими и метеорологическими станциями многих стран. В работе дана новая оценка элементов мирового водного баланса. Сток в океан, согласно этой монографии, выражается цифрой 47 тыс. км<sup>3</sup>.

Накопленные гидрометеорологические материалы и сведения об элементах теплового баланса поверхности Земли позволили ряду исследователей составить ориентировочные водные балансы отдельных континентов, представленные в табл. 30.

На рис. 31 показана схема круговорота воды на земном шаре с обозначением абсолютных величин элементов баланса влагооборота согласно данным М. И. Львовича (1973).

По поводу степени приближения нынешних сведений о балансе влагооборота к действительным величинам, несмотря на успехи в воднобалансовых исследованиях, можно повторить то, что говорил О. А. Дроздов в 1959 г., а именно, что в настоящее время удалось лишь в первом приближении сбалансировать осадки, испарение и сток для земного шара. Остаются трудности измерения осадков, выпадающих на океан, и испарения с него. Насколько еще недостаточно точны оценки величины этих элементов, можно видеть, например, из следующего сопоставления. Если по приведенному выше расчету М. И. Будыко и Л. А. Строкиной годовые осадки на океан составляют слой высотой 114 см, а испарение 126 см, то по данным океанолога В. Н. Степанова эти элементы водного баланса океана равны соответственно 89 и 99 см (Степанов, 1966, стр. 23). Расхождение, как видим, составляет почти 30% по обеим величинам. В сборнике «Океан и человечество» (1968), где В. Н. Степанов приводит те же значения, А. С. Монин испарение с океана определяет только в 334 тыс. км<sup>3</sup>.



Таблица 30. Элементы водного баланса континентов

Континенты	По М. И. Будыко (1956) <sup>1</sup>						По Г. П. Калинин (1968)						По Чанг Джен-ху и Онимото Гари (1970)							
	Осадки		Испарение		Сток		Площадь млн. км <sup>2</sup>	Осадки		Испарение		Сток		Площадь, млн. км <sup>2</sup>	Осадки		Испарение		Избыток влаги	
	см	тыс. км <sup>3</sup>	см	тыс. км <sup>3</sup>	см	тыс. км <sup>3</sup>		см	тыс. км <sup>3</sup>	см	тыс. км <sup>3</sup>	см	тыс. км <sup>3</sup>		см	тыс. км <sup>3</sup>	см	тыс. км <sup>3</sup>	см	тыс. км <sup>3</sup>
Африка	67	19,6	51	14,9	16	4,7	29,81	73	21,8	53	15,8	20	6,0	29,2	74	21,6	65	19,0	9	2,6
Азия	61	25,5	39	16,3	22	9,2	42,28	52	22	35	14,8	17	7,2	41,8 <sup>3</sup>	54	22,6	43	18,0	11	4,6
Австралия	47	3,6	41	3,1	6	0,5	7,96	50	4,0	42	3,3	8	0,7	7,6	49	3,7	41	3,1	8	0,6
Австралия с Тасманией, Новой Гвинеей и Новой Зеландией	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Европа	60	7,0	36	4,2	24	2,8	9,67	59	6,7	33	3,2	26	3,5	11,6 <sup>4</sup>	60	6,9	47	5,5	13	1,4
Северная и Центральная Америка	67	16,8	40	10,0	27	6,8	20,44	74	15,1	42	8,6	32	6,5	25	70	17,5	63	15,7	7	1,8
Южная Америка	135	24,3	86	15,5	49	8,8	17,98	144	25,8	99	17,8	45	8,0	18	151	27,2	111	20,0	40	7,2
Вся суша	—	96,8	—	64	25	32,8	128,14 <sup>2</sup>	75	95,4	50	63,5	25	31,9	133,2 <sup>5</sup>	75	99,7	61	81,0	14	18,7

Континенты	По М. И. Львовичу (1972)							По данным монографии «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли» (1974)						
	Площадь, млн. км <sup>2</sup>	Осадки		Испарение		Сток		Площадь, млн. км <sup>2</sup>	Осадки		Испарение		Сток <sup>10</sup>	
		см	тыс. км <sup>3</sup>	см	тыс. км <sup>3</sup>	см	тыс. км <sup>3</sup>		см	тыс. км <sup>3</sup>	см	тыс. км <sup>3</sup>	см	тыс. км <sup>3</sup>
Африка	30,3	69	20,8	55	16,6	14	4,2	30,12	74	22,3	59	17,7	15	4,6
Азия	45	73	32,7	43	19,5	30	13,2	43,48	74	32,2	42	18,1	32	14,1
Австралия	7,6	44	3,3	39	3,0	5	0,3	—	—	—	—	—	—	
Австралия с Тасманией, Новой Гвинеей и Новой Зеландией	8,7	74	6,4	51	4,4	23	2,0	8,95 <sup>9</sup>	79	7,1	51	4,6	28	2,5
Европа	9,8 <sup>6</sup>	73	7,2	42	4,1	31	3,1	10,5	79	8,3	51	5,3	28	3,0
Северная и Центральная Америка	20,7 <sup>7</sup>	67	13,9	38	8,0	29	5,9	24,2	76	18,3	42	10,1	34	8,2
Южная Америка	17,8	165	29,4	107	19,0	58	10,4	17,8	160	28,4	91	16,2	69	12,2
Вся суша	132,3 <sup>8</sup>	84	110,4	54	71,6	30	39,0	149	80	119,0	48,5	72	31,5	47,0 <sup>11</sup>

<sup>1</sup> В расчете на те же площади, которые приняты при подсчете объемов по Чанг Джен-ху и О. Гари.

<sup>2</sup> Очевидно, без тех же областей, что у Львовича, и с учетом расхода с ним в величине площади Азии.

<sup>3</sup> Без Кавказа и Закавказья (440 тыс. км<sup>2</sup>)

<sup>4</sup> С Кавказом и Закавказьем.

<sup>5</sup> Без Антарктиды и Гренландии.

<sup>6</sup> Включая Исландию (103 тыс. км<sup>2</sup>)

<sup>7</sup> Без Канадского архипелага.

<sup>8</sup> Без Антарктиды — 14 млн. км<sup>2</sup>, Гренландии — 2,18 млн. км<sup>2</sup> и Канадского архипелага — более 1 млн. км<sup>2</sup> (т. е. без стока с полярных ледников).

<sup>9</sup> Австралия и Океания.

<sup>10</sup> Включая подземные воды, не дренируемые реками.

<sup>11</sup> Включая сток с Антарктиды.

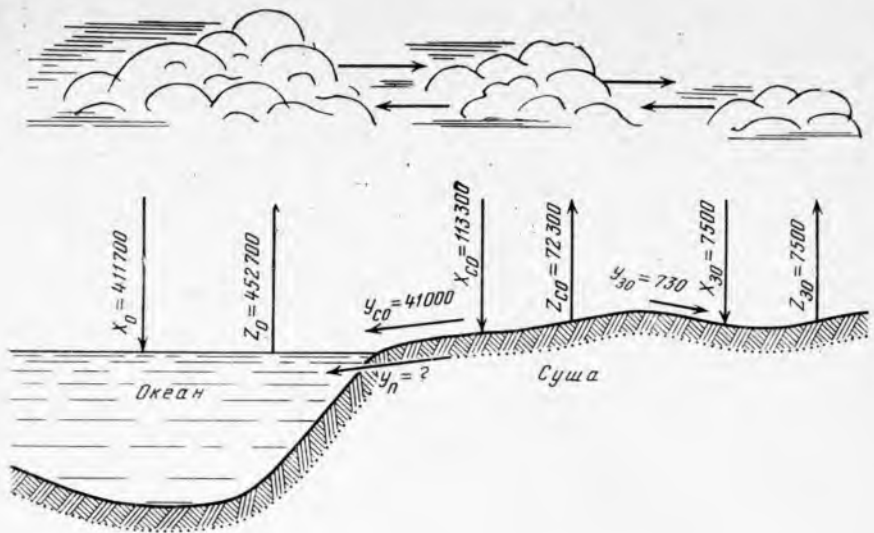


Рис. 31. Схема и баланс (км<sup>3</sup>) круговорота воды на земном шаре, по М. И. Львовичу (1973)

$X_0$  — осадки на океан;  $Z_0$  — испарение с океана;  $X_{co}$  — осадки в сточных областях суши;  $Z_{co}$  — испарение в сточных областях суши;  $X_{30}$  — осадки в замкнутых областях суши;  $Z_{30}$  — испарение в замкнутых областях суши;  $Y_{co}$  — поверхностный сток в океан;  $Y_n$  — подземный сток в океан;  $Y_{30}$  — сток в замкнутых областях

На суше особенно неточно учитываются зимние осадки и совсем не измеряются горизонтальные осадки.

Польский автор З. Вожняк в статье «Конденсация — малоизвестный компонент водного баланса» (Woźniak, 1972) приводит результаты измерений конденсации и сублимации водяного пара, проведенных в горных районах Чехословакии, Польши и ФРГ, показывающие, что доля этих видов осадков в приходной части водного баланса представляет весьма значительную величину. Так, в Баварском лесу на высоте 1308 м приход влаги за счет конденсации составляет 70% годовой суммы осадков. На Каспировом Верху в Карпатах (1991 м) эта величина достигает 95%.

С большей по сравнению с другими элементами водного баланса надежностью определена величина речного стока, которая, как отмечает М. И. Львович, «остаётся устойчивой в течение истекших пяти десятилетий» (Львович, 1970). «Можно полагать, — пишет он в другой работе, — что для столь существенных уточнений полного речного стока (подобных уточнению стока Амазонки. — И. Ф.) на земном шаре осталось теперь гораздо меньше места» (Львович, 1973).

Приводя эту оценку состояния изученности мирового речного стока крупным его исследователем, нельзя не отметить, что (табл. 29) данные о величине речного стока, опубликованные в самые последние годы, серьезно различаются. Если считать слишком заниженной величину 14 см<sup>4</sup>, все равно расхождение между наименьшей — 20 см (Нейса) и наибольшей — 31 см (Зубенок; Будыко и Соколов) оценками составит 55%. Но, очевидно, можно сказать, что стабильность величины речного стока, результирующего элемента водного баланса, хотя она по подсчетам, выполненным в течение почти 70 лет, колеблется в значительных пределах, позволяет все же считать, что нет оснований для предположений, что дальнейшие исследования круговорота воды могут сильно изменить коли-

<sup>1</sup> Джен-ху и Гари, сравнивая свои балансовые данные с данными Будыко, считают, однако, что полученные ими величины, «вероятно, более точны, чем величины Будыко».

чественные оценки элементов водного баланса нашей планеты. Можно также сказать, что пределы нынешних оценок объема мирового речного стока таковы, что в них вполне уложатся будущие уточнения.

О. А. Дроздов, подчеркивая в указанной выше работе неясность вопроса о подземных водах, стекающих непосредственно в океан, говорит, что их дебит, как полагают, может быть настолько большим, что именно это изменит наши представления о водном балансе значительных территорий суши.

Относительно подземной ветви стока воды в океан необходимо сказать следующее. Существование подземного стока в моря и океаны не подлежит сомнению, предположение об этом высказывалось, как отмечалось, еще в начале XVIII в. (например, А. Валлисниери). В подтверждение этого указывалось, например, на зависимость уровня некоторых озер Исландии от приливов и отливов, а также на существование во многих прибрежных зонах пресноводных источников в море (Ольдекоп, 1911, стр. 31).

На существование под ложами крупных рек, протекающих в мощных аллювиальных отложениях, потоков грунтовых вод, параллельных русловым, указывали Ф. П. Саваренский, Г. Н. Каменский и другие гидрогеологи. Вопросу о подземных потоках посвятил в 1948 г. статью З. А. Макеев. В ней указывается, что при впадении реки в море приток в русло (поперечный подземный сток) уменьшается до нуля, а продольный сток более глубокой зоны подпирается морской водой и при определенных условиях может преодолеть этот подпор. Допускается также разгрузка в море на всем протяжении от его берега до наименьшей отметки дна подземных вод суши, проникающих в водопроницаемых породах вглубь ниже дна моря (Макеев, 1948). Ф. А. Макаренко, посвятивший исследованию проблемы подземного стока ряд интересных работ, также писал в 1948 г.: «Воды метеорного стока разгружаются преимущественно в пределах суши, но в некоторой части выводятся также далеко в пределы океанических погружений материков» (Макаренко, 1948). В какой именно части — достоверных данных об этом пока что нет. Немецкий гидролог В. Гальбфас оценивал (Halbfass, 1934) подземный сток в океан в 1/10 речного стока, однако В. Мейнардус считал эту величину необоснованной и не находил возможным учитывать подземный сток в море в мировом водном балансе.

О подземном стоке метеорных вод в океан некоторое представление, возможно, могут дать сведения, относящиеся к Каспийскому морю. При величине речного стока 324,2 км<sup>3</sup> в год подземный сток в море составляет 5,5 км<sup>3</sup> в год<sup>1</sup>.

По поводу подземного стока в океан авторы «Курса метеорологии» под редакцией П. И. Тверского пишут: «Вообще говоря, океаны и материки могут обмениваться и подземными водами, но, по современным воззрениям, подземный сток во много раз меньше, чем поверхностный (Курс метеорологии, 1951, стр. 135). Однако такое мнение о величине подземного стока скорее заставляет думать, что он все же значителен, тогда как, например, Р. Нейс считает, что по самой высокой оценке он может составлять лишь 5% поверхностного стока (Нейс, 1972, стр. 14). Вопрос о подземном стоке в океаны и моря, включая методы его исследования, всесторонне рассмотрен в статье И. С. Зекцера, В. А. Иванова и А. В. Месхетели «О разгрузке подземных вод в моря» (1972).

Что касается той части подземного стока, которая дренируется реками, то Ф. А. Макаренко в упомянутой работе 1948 г. и в других работах величину ее определяет примерно в 50% объема всего речного стока, т. е. в 15 тыс. км<sup>3</sup> в год. Вместе с тем он считает, что такой же объ-

<sup>1</sup> Имеются и другие оценки подземного стока в Каспийское море: от 0,3—0,5 км<sup>3</sup> в год (Подземный сток в Каспийское море, 1962) до 24,7 км<sup>3</sup> в год (Уланов, 1965).

ем из подземного стока расходуется на транспирацию растениями и на испарение. По последним данным М. И. Львовича, устойчивый речной сток равняется  $14\,010\text{ км}^3$ , составляясь из  $11\,885\text{ км}^3$  стока подземного происхождения,  $285\text{ км}^3$  зарегулированного озерами и  $1840\text{ км}^3$  зарегулированного водохранилищами (Львович, 1972). Суммарный устойчивый речной сток составляет 36% полного стока.

По поводу источников питания подземных вод после исследований А. Ф. Лебедева, проведенных еще в первых трех десятилетиях рассматриваемого периода, не возникает сомнений, что главным источником являются инфильтрующиеся осадки и в небольшой доле конденсация в грунтах паров воздуха, особенно в районах с высокой влажностью, но небольшим количеством осадков.

Относительно участия в круговороте непрерывно поступающих на поверхность Земли и непосредственно в океан глубинных ювенильных вод можно сказать, что количество их считается незначительным, не изменяющим заметно годовых величин испарения и осадков на земном шаре, и что «в современную эпоху... в целом для всего земного шара мы имеем дело с некоторым установившимся режимом влагооборота» (Курс метеорологии, 1962).

Важным для теории и практики результатом изучения влагооборота за последние десятилетия является выяснение действительной роли переносимых на сушу адвективных океанических паров и континентальных паров в образовании осадков на суше.

В течение долгого времени, начиная с Э. Брикнера, считалось, что осадки на суше образуются главным образом благодаря внутреннему влагообороту, т. е. благодаря тому, что приносимая с океана влага после первого выпадения, испаряясь, вновь выпадает в глубине материка еще 2—3 раза. А из этого предположения делался вывод, что облесение территории и всякие обводнительные мероприятия на ней, усиливающие испарение, должны вести к серьезным макромасштабным изменениям климата в сторону его большей увлажненности.

Мнение о решающей роли местного испарения разделялось И. И. Касаткиным, Г. Н. Высоцким, А. Д. Дубахом, В. В. Цинзерлингом и др. В том же смысле было истолковано приведенное выше высказывание А. И. Воейкова о значении местного испарения как важного фактора образования осадков.

В изданной у нас в 1965 г. работе немецкого гидролога Р. Келлера говорится, что значительная часть осадков, выпадающих на суше, «образуется за счет многократного оборота влаги над самой сушей» (Келлер, 1965, стр. 19). Неправильность этого мнения, основанного лишь на умозрительных построениях и предположениях, сложившихся в то время, когда еще не было аэрологических измерений действительного переноса влаги атмосферными потоками, была показана в 1950—1953 гг. в исследованиях К. И. Кашина и Х. П. Погосьяна, М. И. Будыко и О. А. Дроздова. Ими было установлено, что даже для такой большой территории, как европейская часть СССР, доля влаги местного происхождения в выпадающих осадках составляет не более 15%. Еще раньше, в конце 30-х годов, Б. Хольцман и Ч. Торнтвейт установили доминирующее значение океанических паров в осадках над территорией Северной Америки. Они показали, что хотя почти 75% выпавших на территорию США океанических осадков испаряются с нее, только 25% могут выпасть повторно, а 75% уносятся атмосферным стоком (см. Дроздов, Григорьева, 1963, стр. 31).

Вопрос о соотношении океанических паров и паров местного происхождения, а также о значении последних в образовании осадков на данной территории основательно рассмотрен в известной монографии Г. П. Калинина «Проблемы глобальной гидрологии» (1968) и в его совместной с Л. П. Кузнецовой статье «О расчете элементов водного баланса атмосферы и гидросферы» (1972). Подсчитав для частей света коэффициент

лагооборота (отношение общего количества осадков к количеству осадков, образованных за счет внешнего пара), он показал прямую зависимость его от размера территории. Так, для Австралии он оказался равным (по данным статьи) 1,21, для Азии — 1,48, а для Евразии — 1,53. Г. П. Калинин и Л. П. Кузнецова приходят к следующим важным выводам:

«1. В формировании осадков для всех континентов превалирует количество океанической влаги, большая часть внешней влаги выпадает над континентами.

2. Весьма любопытно, что при больших размерах территории суши (Евразия) почти вся принесенная из океанов влага расходуется на этой же территории.

3. Местный водяной пар играет существенную роль в образовании осадков на всех континентах (кроме Австралии). При этом следует учитывать также его «стимулирующую» роль в формировании осадков и за счет внешнего пара. Это обуславливается, во-первых, тем, что местное испарение снижает температуру, а следовательно, и уровень конденсации, и, во-вторых, тем, что благодаря нелинейности связи увлажнения атмосферы с осадками дополнительное повышение увлажненности атмосферы дает больший эффект, чем аналогичное изменение увлажнения на более низком уровне.

Таким образом, в гипотетическом случае отсутствия местного испарения (полного расходования влаги на сток) количество осадков, образовавшееся из внешней влаги, было бы существенно ниже. Иными словами, современная увлажненность континентов — результат взаимосвязи внешней и местной влаги» (Калинин, Кузнецова, 1972).

Выяснение действительной, хотя и существенной, но ограниченной роли местного испарения в образовании осадков, выпадающих на данной или соседней территории, дает правильную ориентацию в планировании практических мероприятий, направленных на улучшение климатических условий засушливых территорий.

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ВОДНЫЙ БАЛАНС СССР

Сведения об исследовании элементов водного баланса отдельных речных бассейнов и территорий нашей страны в дореволюционное время приведены нами выше, в частности было указано на крупные работы А. И. Воейкова, Е. А. Гейнца, Н. И. Максимовича, Е. В. Оплокова.

После революции с переходом советского народа к мирному строительству началось планомерное изучение природных богатств страны. Большое внимание было обращено и на исследование водных ресурсов Советского Союза, элементов его водного баланса — стока, осадков, испарения, подземных вод. Быстро развивалась сеть гидрометеорологических станций на реках, озерах, водохранилищах, болотах. С начала 30-х годов в различных пунктах страны было открыто 20 специализированных стоковых станций — полевых научно-исследовательских лабораторий.

В 1931—1940 гг. был составлен первый Водный кадастр СССР, включающий сведения о поверхностных и подземных водах страны, об осадках, снежном покрове, испарении. В 1958 г. была начата подготовка второго издания Водного кадастра СССР, состоящего из трех серий: 1) «Гидрологическая изученность СССР»; 2) «Основные гидрологические характеристики»; 3) порайонные монографии «Ресурсы поверхностных вод СССР».

В 1927 г. Д. И. Кочерин (1889—1928 гг.) на основе данных о стоке всего по 34 створам составил первую карту изолиний среднемноголетнего стока рек Европейской территории СССР. В своем докладе «Сток по районам Союза» на 2-м Всесоюзном гидрологическом съезде Д. И. Кочерин впервые привел сведения о водном балансе той же территории с площадью водосбора 4 080 000 км<sup>2</sup> по бассейнам Ледовитого океана, Балтий-

ского, Черного и Азовского, Каспийского морей. Коэффициент стока для всей территории оказался равным 0,36, изменяясь от 0,55 для бассейна Балтийского моря до 0,7 для бассейна Каспийского моря.

В 1937 г., используя кадастровые материалы, в ГГИ Б. Д. Зайков и С. Ю. Белинков составили новую карту среднемноголетнего стока европейской части СССР. Была также составлена схематическая карта стока для азиатской части СССР. В 1946 г. эти карты были уточнены с использованием для построения новых карт данных для 2360 пунктов вместо данных для 1281 пункта, имевшегося в 1937 г.

П. С. Кузин, определивший в 1950 г. планиметрированием карт изолиний величины осадков и стока для 21 800 тыс. км<sup>2</sup> территории СССР, представил водный баланс страны следующими данными: осадки — 8750 км<sup>3</sup>/год, сток — 3930 км<sup>3</sup>/год, испарение — 4820 км<sup>3</sup>/год.

Изданная в 1962 г. монография К. П. Воскресенского «Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза» с картами изолиний зонального стока явилась новым обобщением по стоку рек СССР. Общесоюзная карта среднегодового стока была составлена автором монографии с использованием сведений уже по 5690 пунктам наблюдений.

По подсчету К. П. Воскресенского, суммарный сток рек СССР оказался равным 4340 км<sup>3</sup>/год, что составляет 11,7% (а не 8%, как у автора монографии) от стока всех рек мира и 28% — от стока рек Европы и Азии. При этом было указано, что «в многоводные годы водные ресурсы могут быть в два-три раза больше, а в маловодные — в два раза меньше, чем в средние по водности годы» (Воскресенский, 1962, стр. 127). Распределение стока по территории СССР отличается большой неравномерностью. Так, на Черноморском побережье Кавказа он достигает 88,5 л/сек, а в пустынях Казахстана и Средней Азии снижается до 0,1 л/сек. Около 86% стекает в Северный Ледовитый и Тихий океаны с территории северных и восточных районов страны. В Европейской части СССР, где сосредоточено около 70% населения, водные ресурсы рек составляют 1060 км<sup>3</sup> в год; сток с площади зоны недостаточного увлажнения, составляющей 27% всей площади страны, равен только 2% годового объема общего речного стока.

В 1967 г. был опубликован крупный труд «Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза», подготовленный в Государственном гидрологическом институте под руководством А. П. Бочкова и К. П. Воскресенского.

Расчет водного баланса СССР произведен авторами этого труда с использованием данных, накопленных к 1960 г.

Норма годовых осадков определялась как средняя арифметическая из наблюдений 1891—1950 гг., а при больших различиях в осадках в пределах района (водосбора) — как средневзвешенная величина из показаний метеорологических станций или же по картам, составленным Главной геофизической обсерваторией. Поскольку осадки, измеренные дождемерами, а с 1950—1956 гг. заменившими их осадкомерами В. Д. Третьякова, называются преуменьшенными, они были исправлены в сторону увеличения на рекомендованные ГГИ и ГГО коэффициенты, изменяющиеся по территории СССР от 1,17 (Черкасская область УССР) до 1,56 (Ямало-Ненецкий национальный округ).

Средний годовой сток был определен по карте в масштабе 1 : 5 000 000, помещенной в монографии К. П. Воскресенского (1962), с использованием дополнительных материалов ГГИ, Гидропроекта и других институтов. Испарение подсчитывалось как разность осадков и стока.

Элементы водного баланса для территории СССР без островов Северного Ледовитого океана оказались равными: осадки — 531 мм, или 11 694 км<sup>3</sup> в год; сток, формирующийся в СССР, — 198 мм, или 4358 км<sup>3</sup> в год; испарение — 333 мм, или 7336 км<sup>3</sup> в год; коэффициент стока в среднем равен 0,37.

Остановимся на подсчетах стока. Данные о нем выражаются следующими цифрами (в км<sup>3</sup>):

Общий речной сток	4714
в том числе:	
формирующийся в пределах страны	4358
на островах Северного Ледовитого океана	26
приток из-за пределов страны	330
Сток в моря и бессточные водоемы	4564
Потери стока	150

Объем потерь составляется из воды, расходуемой на испарение, инфильтрацию в руслах рек и безвозвратный водозабор, главным образом в засушливых районах. Таким образом, ежегодно возобновляемые ресурсы речных вод СССР составляют около 4700 км<sup>3</sup>. Но известно, что наиболее ценной частью речного стока является его подземная составляющая. В рассматриваемой работе не дано полного подсчета объема этой величины из-за трудности определения ее для значительной части рек. Проблемой подземного питания рек занимались у нас, начиная с В. Г. Глушкова (20-е годы), А. В. Огиевский, М. И. Львович, Ф. П. Саваренский, Б. В. Поляков, Б. И. Куделин, Ф. А. Макаренко, М. П. Распопов, А. Т. Иванов и др. Б. И. Куделиным (1949 г.) выделены три основных типа подземного питания рек: 1) грунтовое, осуществляющееся безнапорным стеканием в реку вод из подземных водоносных горизонтов; 2) артезианское; 3) отрицательное, имеющее место в случаях, когда река теряет часть стока, причем эти потери могут быть временными (инфильтрация воды в берега в восходящую стадию половодья или паводков с возвращением ее в реку при спаде уровня, что получило название берегового регулирования речного стока) и постоянными (например, в областях питания артезианских бассейнов).

В СССР и в других странах было предложено свыше двадцати методов выделения из общего речного стока его подземной составляющей. Все они могут быть разделены на три группы, в которых такое выделение определяется путем: 1) химического анализа стока; 2) расчета водного баланса реки; 3) расчленения гидрографа стока методом «срезки». В СССР применяются главным образом методы третьей группы. Наиболее разработанным из них является предложенный Б. И. Куделиным (1949 г.) гидролого-гидрогеологический метод генетического расчленения гидрографа реки. Метод Куделина был использован в начатых с 1959 г. широких исследованиях по определению подземного стока на всей территории СССР. К 1963 г. был составлен комплекс карт подземного стока зоны интенсивного водообмена в масштабе 1 : 5 000 000 и к 1966 г. — обзорная карта подземного стока СССР в масштабе 1 : 2 500 000. При этом было проанализировано более 30 тыс. реальных гидрографов, относящихся к рекам, собирающим сток с 80% всей площади страны; для остальной территории оценка естественных ресурсов подземных вод производилась по данным гидрогеологических и воднобалансовых расчетов. Материалы картирования подземного стока позволили установить, что среднегодовой объем возобновляемых запасов (естественных ресурсов) подземных вод СССР равняется примерно 1020 км<sup>3</sup>, в то время как общий сток рек СССР (без притока из-за рубежа) определяется цифрой 4208 км<sup>3</sup> в год (без учета потерь на испарение, инфильтрацию и безвозвратный водозабор в засушливых районах). Организация, методика, результаты этих исследований освещены в вышедшей в 1966 г. работе «Подземный сток на территории СССР» (редактор Б. И. Куделин), а также в монографии О. В. Попова «Подземное питание рек» (1968). Поскольку в работе «Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза» испарение вычислено как разность осадков и стока, оно оказывается несколько преуве-

личенным за счет недренируемого реками подземного стока, поступающего непосредственно в океан. Как уже указывалось, его величина считается незначительной.

В 1969 г. вышла другая обобщающая работа по водному балансу нашей страны — «Водный баланс СССР и его преобразование», подготовленная в Институте географии АН СССР и состоящая из трех разделов: «Естественный водный баланс», «Преобразование водного баланса» и «Активное воздействие на водный баланс». Авторами этого труда годовой водный баланс СССР выражен такими данными: осадки —  $11\,000\text{ км}^3$ ; полный речной сток —  $4350$ , его подземная составляющая —  $1020$ , суммарное испарение —  $6650\text{ км}^3$ , т. е. цифрами, мало отличающимися от цифр работы, подготовленной в ГГИ! <sup>1</sup>. Отметим, что при определении элементов водного баланса М. И. Львовичем выделяется важная его характеристика — валовое увлажнение почвы, выражаемое разностью осадков и поверхностного стока. Для территории СССР оно равно  $7670\text{ км}^3$ . В работах, выполненных под руководством Б. И. Куделина и М. И. Львовича, подземная составляющая стока рек СССР определяется, как указано, в объеме  $1020\text{ км}^3$  в год. Но Ф. А. Макаренко и Т. П. Афанасьев считают, что в полном стоке, принимаемом ими равным  $4500\text{ км}^3$  в год, она близка к  $2000\text{ км}^3$  в год, из которых примерно  $1000\text{ км}^3$  попадает в реки и внутренние водоемы страны, а другая половина расходуется на испарение и транспирацию (Макаренко, Афанасьев, 1967, стр. 282). Что касается общего запаса подземных вод на территории СССР, то, согласно этим исследователям, объем пресных и засоленных вод, находящихся в осадочной толще, составляет около 15 млн.  $\text{км}^3$ , а только пресных вод, распространяющихся на глубину до 200 м, — 2—3 млн.  $\text{км}^3$ . Не так много, замечают Ф. А. Макаренко и Т. П. Афанасьев. Но можно считать, что и не так мало, хотя в свете сказанного выше о запасах подземных пресных вод в глобальном масштабе приведенная оценка, скорее всего, преувеличена. Имеется, однако, более определенная и конкретная оценка эксплуатационных ресурсов пресных подземных вод на территории СССР. Как указывается в статье Н. Н. Биндемана на эту тему, исследованиями, проведенными Министерством геологии СССР в 1961—1962 гг., примерно для половины территории СССР установлено, что эксплуатационные ресурсы пресных и слабосоленых подземных вод имеются в количестве 6—7 тыс.  $\text{м}^3/\text{сек}$ , «что составляет 2500—3000  $\text{л}/\text{сутки}$  на душу населения, проживающего на этой территории, т. е. значительно больше, чем это требуется в настоящее время для водоснабжения городского населения на хозяйственно-питьевые нужды по самым высоким нормам» (Биндеман, 1972).

Особое значение для народного хозяйства страны имеют термальные воды. По предварительным подсчетам, дебит прогнозных запасов подземных вод с глубиной залегания до 3500 м, имеющих температуру 40—200°, оценивается в 19 750 тыс.  $\text{м}^3/\text{сутки}$ , а дебит эксплуатационных запасов — в 7900 тыс.  $\text{м}^3/\text{сутки}$  (Дворов, 1972, стр. 35). Глубоким бурением (на 7—10—15 км) могут быть вскрыты термальные воды с температурой 200—350°, и тогда прогнозные оценки запасов горячих вод и их энергетического потенциала увеличатся во много раз.

По данным К. П. Воскресенского, основные запасы озерных пресных вод, сосредоточенные в 17 крупных озерах СССР, составляют около  $26\,200\text{ км}^3$ , из них 88% приходится на оз. Байкал (см. Куделин и др., 1970, стр. 29).

<sup>1</sup> Создание в Институте географии АН СССР новых карт испарения и полного речного стока с территории СССР в связи с начатой им в 1960 г. подготовкой серии монографий «Природные условия и естественные ресурсы Советского Союза» и характеристика этих карт в сопоставлении с другими картами испарения и стока освещены в статьях Н. Н. Дрейер («Известия АН СССР, серия географическая», 1966, № 5, карта испарения; 1969, № 6, карта стока).



В 1973 г. Р. А. Нежиховским были опубликованы результаты его определения объемов воды в реках, озерах и водохранилищах Советского Союза. Согласно этому подсчету, единовременный объем воды в реках СССР составляет  $504 \text{ км}^3$ , в озерах —  $27\,994 \text{ км}^3$  (в том числе в оз. Байкал  $23 \text{ тыс. км}^3$ ), в водохранилищах —  $60 \text{ км}^3$  (Нежиховский, 1973). Таким образом, объем воды в озерах оказался на  $56\%$  больше объема, подсчитанного К. П. Воскресенским. Запас болотных вод Воскресенский определяет цифрой  $3 \text{ тыс. км}^3$ . Как уже указывалось, по оценке Г. А. Авсюка, ледники на территории СССР составляют около  $16 \text{ тыс. км}^3$ . К. П. Воскресенский называет меньшую величину —  $12,5 \text{ тыс. км}^3$ .

Таким образом, общие запасы только поверхностных пресных вод на территории СССР равны примерно  $45 \text{ тыс. км}^3$ , из которых лишь приблизительно  $10\%$  составляют ежегодно возобновляемые речные воды.

Ресурсы пресных вод нашей страны достаточно велики, чтобы надежно обеспечить потребность в них народного хозяйства с учетом его интенсивного развития. Потребуется, однако, дальнейшие крупные работы по регулированию и изменению распределения речного стока по территории страны. Вместе с тем должны неуклонно осуществляться законоположения, зафиксированные в принятых в декабре 1970 г. Верховным Советом СССР «Основах водного законодательства Союза ССР и союзных республик», а также другие важные решения партии и правительства, направленные на дальнейшее улучшение дела охраны, рационального использования и умножения водных ресурсов страны.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение истории развития представлений о воде и гидросфере от их зарождения до наших дней позволяет сформулировать следующие итоги.

1. Вода, лишенная в конце XVIII в. не принадлежащего ей в действительности ранга одного из основных начал природы, не утратила усиленного внимания к себе ученых, оставалась и остается объектом интенсивных физико-химических исследований, раскрывающих все новые и новые свойства этого необыкновенного вещества, определяющего, как говорил В. И. Вернадский, картину видимой природы. В работе вместе с освещением истории физико-химического изучения воды показаны основные проявления в природных процессах ее необычных, только ей присущих свойств.

2. В науках о Земле всегда вызывал интерес к себе вопрос о количестве воды на земном шаре, уникальной по богатству жидкой водой планете Солнечной системы. В работе впервые наиболее полно освещена история выяснения вопроса о массах воды в различных водоместилищах от первых попыток подсчетов до определений, произведенных в наше время.

а) Подсчеты объема воды в Мировом океане прослежены от середины XVII в. Величина этого объема, вычисленная в 1921 г. Э. Коссиной, в течение последнего полувека считалась равной 1370 млн. км<sup>3</sup>. Ныне наиболее обоснованной цифрой, очевидно, следует считать 1338 млн. км<sup>3</sup> — результат нового определения, произведенного кафедрой картографии Ленинградского государственного университета.

б) Сопоставление оценок массы воды, содержащейся в земной коре, рассмотренных начиная с первого подсчета, относящегося к 1861 г., показывает, что эти оценки оказываются совпадающими по порядку величин, лишь когда они относятся к земной коре в целом. Дифференцированные подсчеты, например, массы воды отдельно в осадочных и кристаллических породах отличаются сильно расходящимися результатами. Особенно это относится к определениям количества пресных подземных вод. Несколько миллионов и несколько десятков миллионов кубических километров — таковы пределы оценок, причем некоторые исследователи и минимальную цифру считают завышенной в несколько раз. Выявление действительных запасов подземных вод, особенно пресных, остается проблемой, подлежащей выяснению.

в) Различными исследователями называются более или менее совпадающие значения объемов воды, скованной в ледниках, а также находящейся в виде пара в атмосфере.

г) Весьма расходятся оценки количества воды в озерах, и уточнение этой величины является задачей, представляющей и научный, и большой хозяйственный интерес, поскольку в озерах аккумулированы большие запасы пресной воды. В более надежном определении нуждается и содержание воды в реках.

3. В любой космогонической легенде и гипотезе вопрос о происхождении и источниках воды на Земле не оставался без внимания. Но научно обоснованный подход к его решению стал возможным только в XX в.

Уже в самом начале века идея одновременного образования большей части вод океана в результате сгущения водяных паров первичной плотной атмосферы и выпадения воды на остывшую земную поверхность была подвергнута сомнению. Все большее признание стал приобретать взгляд, что основная масса воды в океане образовалась в течение длительного геологического времени благодаря выделению водяных паров из глубоких земных недр. Серьезное обоснование такой взгляд получил особенно после того, как на смену гипотезам образования Земли из вещества, раскаленного с самого начала или постепенно разогревшегося до огненножидкого состояния, пришла теория образования Земли из холодного твердого материала, который никогда не претерпевал сильного разогрева в верхнем слое Земли и расплавлявшийся только локально в глубоких очагах в результате главным образом действия радиогенного тепла. Но вместе с тем и при принятии гипотезы полного расплавления первоначальной Земли оказывается, что только небольшая часть воды гидросферы могла образоваться за счет конденсации паров атмосферы, подавляющее же ее количество накапливалось благодаря выходу на поверхность из магмы. Дегазация воды из глубин земной коры и мантии убедительно показана благодаря применению метода геохимических балансов, она нашла также подтверждение в эксперименте с зонной плавкой.

Вопрос о том, по какому закону происходило образование гидросферы во времени — шло ли оно равномерно, продолжаясь и в настоящее время, или закончилось еще в древности — остается дискуссионным. Но, по-видимому, следует признать непоколебленным поддерживаемое едва ли не большинством ученых утверждение В. И. Вернадского о древнем происхождении гидросферы. Большинство исследователей сходится на том, что приход и расход воды в биосфере, незначительные по своей массе, в настоящее время уравниваются и что, следовательно, общее количество воды на Земле остается относительно неизменным, возможно, с архейской эры. Критику некоторыми авторами положения В. И. Вернадского, что «масса воды есть характерная постоянная нашей планеты», как якобы противоречащего общей концепции развития в природе, нельзя признать обоснованной: признание относительного постоянства водной массы планеты так же не противоречит диалектическому принципу развития, как не противоречит ему признание существования многих других констант земной природы.

4. Сложная проблема круговорота воды в природе, имевшая уже в учениях древних натуралистов важное натурфилософское значение, правильно была понята в конце XVII в. прежде всего благодаря применению балансового метода к изучению гидрометеорологических явлений. Накопленные с тех пор данные наблюдений и измерений позволили в конце XIX — начале XX в. представить общую схему круговорота воды на земном шаре и дать первую количественную оценку элементов баланса влагооборота.

В XX в. изучение проблемы круговорота воды на Земле серьезно продвинулось вперед. Остается непоколебленным исходное положение о почти неизменном, по крайней мере в течение современной эпохи, количестве воды, участвующей в круговороте. Окончательно доказана правильность взгляда о доминирующем значении инфильтрации в происхождении грунтовых и вообще подземных вод. Как в результате непосредственных измерений, так и благодаря выяснению количественных отношений между балансами тепла и влаги получили дальнейшее уточнение составляющие баланса влагооборота. Однако расхождения в определениях элементов водного баланса, произведенных различными исследователями, как это видно из составленной автором наиболее полной сводки, охватывающей более чем 100-летний период, оказываются значительными и для самых недавних подсчетов. Но, очевидно, можно сказать, что относительная стабильность выражения величины речного стока, результирующего элемент вод-

ного баланса, хотя и самые последние определения ее различаются между собой примерно на 50%, позволяет считать, что нет оснований для предположений, что дальнейшие исследования круговорота воды могут сильно изменить количественные оценки элементов водного баланса нашей планеты. Можно предполагать, что пределы нынешних оценок объема мирового речного стока таковы, что в них вполне уложатся будущие уточнения.

5. Рассмотрев различные определения понятия гидросферы, ее границ, автор приходит к заключению, что под гидросферой в широком смысле слова следует понимать сплошную оболочку земного шара, простирающуюся вниз до верхней мантии, где в условиях высоких температур и давления наряду с разложением молекул воды непрерывно происходит их синтез, а вверх примерно до высоты тропопаузы, выше которой молекулы воды подвергаются фотодиссоциации. Правомерно и целесообразно употребление термина «гидросфера» в более узком смысле, а именно с ограничением гидросферы снизу пределом области, содержащей капельножидкую воду, «способную к перемещению» в горных породах и «вытеканию и извлечению из них» (Ф. П. Саваренский). Сведение понятия гидросферы к понятию Мирового океана следет считать неправильным. Вместе с тем, нельзя считать правильным включение в гидросферу глубинных подкорковых зон планеты, поскольку, как указывал В. И. Вернадский, «Фазовая зона планеты, где есть структуры из молекул воды, не выходит за пределы земной коры», и, следовательно, распространение понятия гидросферы, сферы воды, на более глубокие зоны теряет свой прямой смысл.

- Авсюк Г. А.** Изучение ледников и снежного покрова и развитие гляциологии.— В кн.: Развитие наук о Земле в СССР. М., 1967.
- Алекин О. А.** Основы гидрохимии. Л., 1970.
- Аллагьев А. М.** Влагообороты в природе и их преобразования. Л., 1969.
- Альтовский М. Е.** Подземные испарения и формирование химического состава высокоминерализованных подземных вод.— В сб.: Вопросы геохимии подземных вод. М., 1964.
- Алюшинская Н. М., Воскресенский К. П., Григоркина Т. Е., Ковзель А. Г., Маркова О. Л., Рыбкина А. Я., Соколов А. А.** Сток рек земного шара.— Тезисы докладов IV Всесоюзного гидрологического съезда. Л., 1973.
- Андреев А. П.** Ладожское озеро. СПб., 1875.
- Антошко Я. Ф., Соловьев А. И.** История географического изучения Земли. Вып. I. М., 1962.
- Анучин Д. Н.** Верхневолжские озера и верховья Западной Двины. Рекогносцировки и исследования 1894—1895 гг. М., 1897.
- Араго Ф.** Избранные статьи из записок о научных предметах, т. 1. СПб., 1866.
- Ауэрбах Ф.** Семь аномалий воды. Пг., 1919.
- Афанасьев Г. Д.** Геолого-петрографические предпосылки представлений о строении земной коры.— В сб.: Пути и методы познания закономерностей развития Земли. М., 1963.
- Баранов В. И.** Термическая история Земли.— В сб.: Возникновение жизни во Вселенной.— Доклады на совещании Астрономического совета АН СССР 6—7 июня 1962 г. М., 1963.
- Баранов В. И.** Возрастные этапы эволюции земного вещества.— В сб.: Пути познания Земли. М., 1971.
- Бартольд В. В.** К истории орошения Туркестана. СПб., 1914.
- Багудев.** Водородная связь. Успехи химии. 1941, т. X, вып. 4.
- Бахтурин.** Краткое описание внутреннего Российской империи водохозяйства между Балтийским, Черным, Белым и Каспийским морями, служащее изъяснением изданной при Департаменте водяных коммуникаций гидрогеографической карты. СПб., 1802.
- Безруков П. Л.** Древность и молодость океанов.— Океанология, 1973, т. VIII, вып. I.
- Бейкер Дж.** История географических открытий и исследований. М., 1950.
- Бейтс Д. Р.** Состав и строение атмосферы.— В сб.: Планета Земля. М., 1961.
- Беклемишев А. В.** Меры и единицы физических величин. М., 1954.
- Белоусов В. В.** О происхождении океанов. Бюллетень МОИП, отд. геолог., т. XIII, вып. 5, 1967.
- Беляев И. Д.** О географических сведениях в древней России.— Записки Русского географического общества, кн. VI. СПб., 1852.
- Белякин Д. С.** О воде в некоторых минералах.— Труды Петрографического института, 1933, вып. 4.
- Берг Л. С.** Озеро Иссык-Куль.— Землеведение, 1904, т. XI, кн. I—II.
- Берг Л. С.** Аральское море. Опыт физико-географической монографии. СПб., 1908.
- Берг Л. С.** Об изменении климата в историческую эпоху. СПб., 1911.
- Берг Л. С.** Очерки по истории русских географических открытий. М., 1946.
- Берг Л. С.** Климат и жизнь. М., 1947.
- Бергманово** естественное землеописание, ч. I. СПб., 1791.
- Бернал Дж. и Фаулер Р.** Структура воды и ионных растворов.— Успехи физических наук, 1934, т. 14, вып. 5.
- Биндеман Н. Н.** Об эксплуатационных ресурсах пресных подземных вод СССР.— Водные ресурсы, 1972, № 3.
- Блох А. М.** Структура воды и геологические процессы. М., 1969.
- Богословский Б. Б.** Озероведение. М., 1968.
- Богуславский Н. А.** Волга как путь сообщения. СПб., 1887.
- Боднарский М.** Ломоносов как географ. М., 1912.
- Боуэн Н. Л. и Туттл О. Ф.**  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ — $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ — $\text{H}_2\text{O}$ . В сб.: Полевые шпаты. М., 1952.
- Браун Г.** Редкие газы и образование земной атмосферы.— В сб.: Атмосфера Земли и планет. М., 1951.
- Брикнер Э. А.** Баланс круговорота воды на Земле.— Почвоведение, 1905, т. 7, № 3.
- Буан Э.** История воды. СПб., 1897.
- Будыко М. И.** Испарение в естественных условиях. Л., 1948.

- Будыко М. И.* Тепловой баланс земной поверхности. Л., 1956.
- Будыко М. И., Строкина Л. А.* Водный баланс океанов.— Метеорология и гидрология, 1970, № 4.
- Буллард Э.* Происхождение океанов.— В сб.: Океан. М., 1971.
- Быков В. Д., Калинин Г. П.* Водные ресурсы мира, их изменения по территории и во времени.— Вестник МГУ. География, 1968, № 4.
- Быков Г. В.* Амедео Авогадро. М., 1970.
- Быков Г. В., Крицман В. А.* Станислао Канницаро. М., 1972.
- Бютнер Э. К.* О диссипации водорода из атмосфер планет.— Докл. АН СССР, 1959, т. 124, № 1.
- Бюффон Ж.* Всеобщая и частная естественная история, ч. I—II. СПб., 1789—1790.
- Вальден П. И.* Теории растворов в их исторической последовательности. Пг., 1921.
- Вальтер И.* История Земли и жизни. СПб., 1912.
- Варений Б.* География генеральная или повсюдная, в ней же эффекиции или действа генеральная земноводного круга толкуются. М., 1718.
- Великанов М. А.* Гидрология суши. М., 1925.
- Верещагин Г. Ю.* Байкал. М., 1949.
- Вернадский В. И.* Избранные сочинения, т. I, IV, V. М., 1954, 1960.
- Вернадский В. И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., 1965.
- Вильямс В. Р.* Собрание сочинений, т. 10, М., 1952.
- Виноградов А. П.* Возникновение биосферы.— Возникновение жизни на Земле. Труды Международного симпозиума 19—24 августа 1957 г. М., 1959а.
- Виноградов А. П.* Химическая эволюция Земли. М., 1959б.
- Виноградов А. П.* Химия Земли.— В сб.: Глазами ученого. М., 1963.
- Виноградов А. П.* Введение в геохимию океана. М., 1967а.
- Виноградов А. П.* Образование океана.— Известия АН СССР, серия геологическая, 1967б, № 4.
- Виноградов А. П. и Тейс Р. В.* Изотопный состав кислорода фотосинтеза и др.— Докл. АН СССР, 1941, т. 33.
- Витрувий Поллион Марк.* Об архитектуре. Л., 1936.
- Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. Л., 1967.
- Воейков А. И.* Реки России. СПб., 1882.
- Воейков А. И.* Климаты земного шара, в особенности России. СПб., 1884.
- Воейков А. И.* Круговращение воды в природе. Осадки и испарение.— Метеорологический вестник, 1894, № 10 и 11.
- Воейков А. И.* Избранные сочинения, т. I—IV. М., 1948—1957.
- Вознесенский А. В.* Новые данные об осадках на поверхности суши и морей и о годовом водном балансе земного шара.— Труды Гос. гидрол. ин-та, 1938, вып. 7.
- Воскресенский К. П.* Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л., 1962.
- Вронский В. И.* Краткий обзор исследований взвешенной пыли.— Метеоритика, вып. XXIV, 1964.
- Вселенная и человечество. СПб., 1896.
- Вудвелл Дж.* Круговорот энергии в биосфере.— В сб.: Биосфера. М., 1972.
- Вукалович М. И.* Термодинамические свойства воды и водяного пара. М., 1958.
- Вульфсон В.* Богатства морей и океанов— на службу народу.— Коммунист, 1962, № 17.
- Гавриленко Е. С., Дергагольц В. Ф.* Глубинная гидросфера Земли. Киев, 1971.
- Галлилей Г.* Избранные труды, т. I. М., 1964.
- Гвоздецкий Н. А.* Сорок лет исследований и открытий. М., 1957.
- Гейнц Е. А.* Об осадках, количестве снега и об испарении на речных бассейнах Европейской России. СПб., 1898.
- Гейнц Е. А.* Водоносность бассейна верховьев Оки в связи с осадками. СПб., 1903.
- Гендерсон.* Среда жизни. М., 1924.
- Герасимов И. П.* Структурные черты рельефа земной поверхности СССР и их происхождение. М., 1959.
- Геродот.* История. М., 1972.
- Герсеванов М. Н.* Очерк гидрография Кавказского края. СПб., 1886.
- Герцен А. И.* Письма об изучении природы. М., 1946.
- Гершельман Ф. Э.* Исторический очерк внутренних водяных сообщений. СПб., 1892.
- Геффер Г.* Подземные воды и источники. М., 1925.
- Гидрографическая карта части Российской империи между водами Белого, Балтийского, Черного и Каспийского морей. СПб., 1802.
- Гидрографическая карта Европейской России. СПб., 1846.
- Гидросфера. БСЭ, изд. 2-е, т. 11, 1952.
- Гидросфера. БСЭ, изд. 3-е, т. 7, 1972.
- Гильзенбах Р.* Земля жаждет. 6000 лет борьбы за воду. М., 1964.
- Глушков В. Г.* Вопросы теории и методы гидрологических исследований. М., 1961.
- Гмелин С. Г.* Путешествие по России для исследования всех трех царств в природе, ч. III, половина 2-я. СПб., 1785.
- Гнусин Д. Д.* О результатах измерений расходов р. Волги у г. Самары. СПб., 1901.
- Гораций.* Полное собрание сочинений. М., 1933.
- Горский Н. Н.* Вода — чудо природы. М., 1962.
- Григорьев А. А.* Проблема взаимоотношения вещества и энергии в литосфере, гидросфере и атмосфере и ее значение в общей теории физической географии.— Известия АН СССР, серия географическая, 1952, № 4.
- Григорьев А. А.* Типы географической среды. М., 1970.

- Григорьев С. М. Роль воды в образовании земной коры. М., 1971.
- Грин А. М. Воды суши.— В сб.: Круговорот воды. М., 1966.
- Гумбольдт А. Космос, ч. I—II. М., 1866—1871.
- Гутенберг Б. Физика земной коры. М., 1963.
- Давыдов Л. К. Гидрография СССР, ч. I—II. Л., 1953—1955.
- Дальтон Дж. Сборник работ по атомистике. Л., 1940.
- Данилов А. Д. Химия ионосферы. Л., 1967.
- Даннeman Ф. История естествознания, т. I—II. М.—Л., 1932—1936.
- Дворов И. М. Глубинное тепло Земли. М., 1972.
- Дебай П. Полярные молекулы. М.—Л., 1931.
- ✓ Девис К. и Дэй Дж. Вода — зеркало науки. Л., 1964.
- Декарт Р. Рассуждение о методе, с приложениями: «Диоптрика», «Метеоры», «Геометрия». М., 1953.
- Дерпгольц В. Ф. О водообмене между Землей и мировым пространством.— Географический сборник, вып. XV. М.—Л., 1962а.
- Дерпгольц В. Ф. Основной планетарный первоисточник природных вод Земли.— Известия АН СССР, серия геологическая, 1962б, № 11.
- Дерпгольц В. Ф. Опыт количественной характеристики земной гидросферы и хлора.— Докл. АН СССР, т. 150, № 3, 1963.
- Дерпгольц В. Ф. Вода во Вселенной. Л., 1971.
- Джеффрис Г. Земля, ее происхождение, история и строение. М., 1960.
- Джуа М. История химии. М., 1966.
- Дитрих Г. Общая океанография. М., 1962.
- Добровольский А. Д. Мировой океан и его исследования экспедициями Советского Союза.— В сб.: Мировой океан. М., 1970.
- Доманицкий А. П., Дубровина Р. Г., Исаева А. И. Реки и озера Советского Союза. Л., 1971.
- Дорфман Я. Г. Лавуазье. М., 1962.
- Древняя Российская гидрография, содержащая описание Московского государства рек, протоков, озер, кладязей, и какие по ним города и урочища, и на каком оные расстояния. СПб., 1773.
- Дроздов О. А. Круговорот влаги и его роль в природных процессах. Л., 1959.
- Дроздов О. А., Григорьева А. С. Влагодоброт в атмосфере. Л., 1963.
- Жилинский И. И. Очерк работ Экспедиции по орошению на юге России и на Кавказе. СПб., 1892.
- Жилинский И. И. Очерк работ Западной экспедиции по осушению болот (1873—1898). СПб., 1899.
- Жилинский И. И. Очерк гидротехнических работ в районе Сибирской жел. дор. по обводнению переселенческих участков в Ишимской степи и осушению болот в Барабе, 1895—1904. СПб., 1907.
- Жилинский И. И. Сельскохозяйственные гидротехнические работы. СПб., 1908.
- Жирмунский А. М., Козырев А. А. О классификации подземных вод.— В сб.: Материалы по общей и прикладной геологии, вып. 98. М., 1928.
- Журнал министерства путей сообщения, 1875, кн. 3.
- Завадский К. Водяные сообщения России. Сборник предположений и проектов по улучшению водяных путей империи, рассматривавшихся в Главном управлении путей сообщения со времени учреждения ведомства путей сообщения по 1880 год, ч. I—III. СПб., 1884—1888.
- Заварицкий А. Н., Соболев В. С. Физико-химические основы петрографии изверженных горных пород. М., 1961.
- Загоскин Н. П. Русские водные пути и судовое дело в допетровской России. Казань, 1909.
- Зайков Б. Д. Высокие половодья и паводки на реках СССР. Л., 1954.
- Закцер И. С., Иванова В. А., Месхегели А. В. О разгрузке подземных вод в моря.— Водные ресурсы, 1972, № 3.
- Зенкевич Л. А. О древности океана и о значении в решении этого вопроса истории морской фауны.— Океанология, 1966, т. VI, вып. 2.
- Зубенок Л. И. Водный баланс континентов и океанов.— Докл. АН СССР, 1956, т. 108, № 5.
- Зубенок Л. И. Уточненная схема водного баланса континентов.— Труды Главной геофизической обсерватории, вып. 263, 1970.
- Зубов В. П. Леонардо да Винчи и его естественнонаучное наследие. В кн.: Леонардо да Винчи. Избранные естественнонаучные произведения. М., 1955.
- Зюсс Э. Заметки по истории океанов. СПб., 1896.
- Иванов А. Н., Неговская Т. А. Гидрология и регулирование стока. М., 1971.
- Избранные произведения мыслителей стран Ближнего и Среднего Востока IX—XIV вв. М., 1961.
- Известия русского географического общества, т. VI, отд. 1, 1870.
- Ильин А. В. Геоморфология дна Атлантического океана. Автореф. докт. дисс. М., 1972.
- Инструкции и программы Экспедиции по исследованию источников главнейших рек Европейской России. СПб., 1895.
- Исаченко А. Г. Развитие географических идей. М., 1971.
- История биологии с древнейших времен до начала XX века. Под редакцией С. Р. Микулинского. М., 1972.
- История геологии. М., 1973.
- Кадик А. А., Лебедев Е. Б. Влияние температуры на растворимость воды в расплаве альбита при высоких давлениях.— Геохимия, 1968, № 12.
- Калесник С. В. Очерки гляциологии. М., 1963.
- Калесник С. В. Общие географические закономерности Земли. М., 1970.
- Калинин Г. П. Проблемы глобальной гидрологии. Л., 1968.

- Калинин Г. П., Кузнецова Л. П. О расчете элементов водного баланса атмосферы и гидросферы.— Водные ресурсы, 1972, № 1.
- Каменский А. В. Джемс Уатт. СПб., 1891.
- Каминский А. А. Данные и мысли о круговороте воды на земном шаре.— Известия Центрального гидрометеорологического бюро, вып. IV, 1925.
- Камшилов М. М. Эволюция биосферы. М., 1974.
- Кант И. История и теория неба. В сб.: Космогонические гипотезы. М.—Л., 1923.
- Кант И. Сочинения, т. I. М., 1963.
- Каррингтон Р. Биография моря. Л., 1966.
- Кедровливанский В. Н. Метеорологические приборы. Л., 1947.
- Кейльгак К. Подземные воды и источники. СПб., 1914.
- Кейльгак К. Подземные воды. Л.—М., 1935.
- Келлер Р. Воды и водный баланс суши. М., 1965.
- Келпен В. П. Главнейшие озера и лиманы России. СПб., 1859.
- Кинг Л. С. Морфология Земли. Изучение и синтез сведений о рельефе Земли. М., 1967.
- Кирилов И. К. Цветущее состояние все-российского государства, кн. 2. М., 1831.
- Клауд П. и Джибор А. Круговорот кислорода.— В сб.: Биосфера. М., 1972.
- Клэден. Всеобщая география, т. I. Физическая география, вып. 1—3. СПб., 1875—1876.
- Книга Большому Чертежу. М.—Л., 1950.
- Койпер Дж. П. Происхождение, возраст и возможная конечная судьба Земли.— В сб.: Планета Земля. М., 1961.
- Количество льда на Земле.— Природа, 1962, № 4.
- Конфедератов И. Я. Джемс Уатт — изобретатель паровой машины. М., 1969.
- Копелиович А. В. О структурном давлении водных растворов электродитов.— Журнал структурной химии, 1961, т. 2, № 3.
- Коржнев С. С. Главный водораздел Земли и общие тенденции развития речной сети.— Известия АН СССР, серия географическая, 1970, № 5.
- Корт В. Р. Водобмен между океанами.— Океанология, 1962, т. II, вып. 4.
- Котта В. Геологические картины. СПб., 1859.
- Крафт Г. В. Руководство к математической и физической географии. СПб., 1764.
- Красекинников С. П. Описание земли Камчатки. СПб., 1755.
- Крейс К. Разыскания о Доне, Азовском море, Воронеже и Азове (с некоторыми сведениями о казаках).— Отечественные записки, 1824, ч. 19.
- Кривошуккий А. Е. Жизнь земной поверхности. М., 1971.
- Кринов Е. Л. Основы метеоритики. М., 1955.
- Кропоткин П. Н. Эволюция Земли. М., 1964.
- Куделин Б. И., Кунин В. Н., Львович М. И., Соколов А. А. Проблемы обеспечения человечества пресной водой. Л., 1970.
- Кудрявцев П. С. История физики, т. I. М., 1956.
- Курс метеорологии. Под ред. П. И. Тверского. Л., 1951.
- Кювье Ж. Рассуждение о переворотах на поверхности земного шара. М., 1937.
- Ладенбурге А. Лекции по истории развития химии от Лавуазье до нашего времени. Одесса, 1917.
- Ламакин В. В. Исследования Южно-Сибирского водного пути в конце XVIII века.— Труды Института истории естествознания и техники АН СССР, 1955, т. 3.
- Лебедев А. Ф. Передвижение воды в почвах и грунтах.— Известия Донского сельскохозяйственного института, 1919, т. III.
- Лебедев А. Ф. Новая теория происхождения грунтовых вод.— Природа, 1928, № 10.
- Лебедев Д. М. География в России петровского времени. М., 1950.
- Леваковский И. Воды России по отношению к ее населению. Харьков, 1890.
- Левин Б. Формирование Земли из холодного вещества и проблема образования простейших органических соединений.— Возникновение жизни на Земле. Труды Международного симпозиума 19—24 августа 1957 г. М., 1959.
- Левинсон-Лессинг Ф. Ю. О вековых перемещениях суши и моря.— Ученые записки Юрьевского университета, 1893, № 1.
- Лейбниц. Теодицея. Харьков, 1887—1892.
- Ленц Э. Физическая география. СПб., 1851.
- Леонардо да Винчи. Избранные естественнонаучные произведения. М., 1955.
- Лепезин И. И. Дневные записки путешественника, ч. II. СПб., 1771.
- Либих Ю. Письма о химии, т. 1—2. СПб., 1861.
- Линслей Р. К., Колер М. А., Паулюс Д. Л. Х. Прикладная гидрология. Л., 1962.
- Личков Б. Л. Материалы к вопросу о классификации подземных вод.— Материалы по общей и прикладной геологии, вып. 98. М., 1926.
- Личков Б. Л. Природные воды Земли и литосфера. М.—Л., 1960.
- Лохтин В. М. Река Чусовая. СПб., 1878.
- Лохтин В. М. Река Днестр, ее судоходство, свойства и улучшение.— Инженер, 1886, № 11—12.
- Ломоносов М. Сочинения, т. VII. Л., 1934.
- Ломоносов М. В. Сборник статей и материалов. М.—Л., 1940.
- Ломоносов М. В. Полное собрание сочинений, т. 2. М., 1951.
- Лукашевич И. Д. Неорганическая жизнь Земли, ч. I—III. СПб., 1908—1911.
- Лукреций. О природе вещей. М., 1945.
- Лукьянова С. А., Холодильни Н. А. Протяженность береговой линии Мирового океана и различных типов берегов и побережий.— Вестник Московского университета. География, 1975, № 1.



- Львович М. И.* Элементы водного режима рек земного шара. Свердловск — М., 1945.
- Львович М. И.* Водный баланс суши. — Материалы к III съезду географического общества СССР. Л., 1959.
- Львович М. И.* Человек и воды. М., 1963.
- Львович М. И.* Водный баланс и водные ресурсы. — В сб.: Развитие и преобразование географической среды. М., 1964.
- Львович М. И.* Водные ресурсы. — Ежегодник Большой Советской Энциклопедии. М., 1964.
- Львович М. И.* Водные ресурсы будущего. М., 1969.
- Львович М. И.* Мировой водный баланс. — Известия Всесоюзного географического общества, 1970, т. 102, вып. 4.
- Львович М. И.* Реки СССР. М., 1971.
- Львович М. И.* Водный баланс материков земного шара и балансовая оценка мировых ресурсов пресных вод. — Известия АН СССР, серия географическая, 1972, № 5.
- Львович М. И.* Много ли пресной воды на Земле? — Природа, 1973, № 5.
- Львович М. И., Басс С. В., Грин А. М., Дрейер Н. И. и Курьянова Е. И.* Водный баланс СССР и перспективы его преобразования. — Известия АН СССР, серия географическая, 1961, № 6.
- Любимова Е. А.* Об источниках внутреннего тепла Земли. — В сб.: Вопросы космогонии, т. VIII. М., 1962.
- Любимова Е. А.* Проблемы термики Земли. — В сб.: Пути познания Земли. М., 1971.
- Ляйель Ч.* Основные начала геологии, ч. I. М., 1866.
- Макидович И. П.* Очерки по истории географических открытий. М., 1967.
- Магницкий В. А.* О происхождении и путях развития континентов и океанов. — В сб.: Вопросы космогонии, т. VI. М., 1958.
- Макаренко Ф. А.* Некоторые результаты изучения подземного стока. — Труды Лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР, 1948, т. I.
- Макаренко Ф. А.* Опыт изучения закономерностей связи подземных вод с поверхностным стоком. — Труды 3-го Всесоюзного гидрологического съезда. Л., 1959.
- Макаренко Ф. А.* Вода под землей. — В сб.: Круговорот воды. М., 1966.
- Макаренко Ф. А., Афанасьев Т. П.* Гидрогеология. — В сб.: Развитие наук о Земле в СССР. М., 1967.
- Макаренко Ф. А.* Разумно использовать ресурсы подземных резервуаров. — В сб.: Водный голод планеты. М., 1969.
- Макаренко Ф. А., Ильин В. А., Кононов В. И., Поляк Б. Г.* Физическая модель подземной гидросферы. — Международный геологический конгресс. XXIV сессия. Доклады советских геологов. Гидрогеология и инженерная геология. М., 1972.
- Макеев З. А.* О глубинном распределении и передвижении подземных вод. — Труды Лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР, 1948, т. III.
- Макогелльский А.* Досократики, ч. 2. Казань, 1915.
- Макогелльский А. С.* Древнегреческие атомисты. Баку, 1946.
- Максимович Н. И.* Днепр и его бассейн. Киев, 1901.
- Марков Е. С.* О методах исследования озер, ч. I. СПб., 1902.
- Марков К. К.* Палеогеография. М., 1960.
- Марков К. К., Суегова И. А.* Эвстатические колебания уровня океана. — В сб.: Современные проблемы географии. М., 1964.
- Маргынкевич Г. М.* Водяной пар в страто-, мезо- и термосфере. — Метеорология и гидрология, 1969, № 12.
- Маршинин Е. К.* Вулканизм и земная кора. — Бюллетень МОИП, новая серия, 1964, т. X, вып. 3.
- Марш Г.* Человек и природа. М., 1866.
- Материалы для описания русских рек и истории улучшения их судоходных условий, вып. 1—73. СПб., 1902—1917.
- Междуведомственная комиссия для составления плана работ по улучшению и развитию водных сообщений в России. Сведения о занятиях Комиссии в период времени с сентября 1909 г. по август 1910 г. СПб., 1910.
- Мельников О. А.* Межзвездная среда. — Природа, 1957, № 10.
- Мельников О., Кузнецова Т., Попов В.* Астрохимия. — Неделя, 1965, № 23.
- Менделеев Д. И.* Сочинения, т. 5, Л. — М., 1947.
- Меншуткин Б. Н.* Химия и пути ее развития. М. — Л., 1937.
- Менье С.* Сравнительная геология или геология небесных тел. СПб., 1896.
- Меррей Дж.* Океан. Одесса, 1923.
- Миддлтон У.* История теорий дождя и других форм осадков. Л., 1969.
- Мильков Ф. И.* Ландшафтная сфера Земли. М., 1970.
- Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л., 1974.
- Молчанов И. В.* Онежское озеро. Л., 1946.
- Мори.* Физическая география моря. М., 1869.
- Морской атлас, 2, лист 41, 1953.
- Морской атлас, 2, лист. 48Б, 1953.
- Муравейский С. Д.* Процесс стока как географический фактор. — Известия АН СССР, 1946, т. 10, № 3.
- Муратов М. В.* Проблема происхождения первичных и вторичных океанических впадин. — В сб.: История Мирового океана. М., 1971.
- Мэйсон Б.* Метеориты. М., 1965.
- Неймайр Р.* История Земли. СПб., 1899.
- Нэйс Р. Л.* Современное состояние и перспективы глобальной гидрологии. — В сб.: Вопросы мирового водного баланса. Л., 1972.
- Немальцев А. С.* Гидрологическая изученность и карта среднего многолетнего стока земного шара. — В сб.: Применение количественных методов в географии. М., 1971.

- Николаев Н. И.** Искусственные землетрясения.— Природа, 1973, № 7.
- Новый и полный географический словарь Российского государства.** СПб., 1788—1789.
- Ньютон И.** Оптика, или трактат об отраженных, преломлениях, изгибаниях и цветах света. М., 1954.
- Об охране водных богатств.** Главные результаты четырехлетних трудов Экспедиции для исследования источников главнейших рек Европейской России. СПб., 1898.
- Овенден М. В.** Жизнь во Вселенной. М., 1965.
- Овчинников А. М.** Общая гидрогеология. М., 1954.
- Овчинников А. М.** Гидрогеохимия. М., 1970.
- Олеарий А.** Описание путешествия в Московию и через Московию в Персию и обратно. СПб., 1906.
- Ольдекоп Э.** Об испарении с поверхности речных бассейнов. Юрьев, 1911.
- Оорт Э.** Круговорот энергии на Земле.— В сб.: Биосфера. М., 1972.
- Опарин А. И.** Возникновение жизни на Земле. М., 1957.
- Опись делам приказа тайных дел 1713 г.—** Записки Отделения русской и славянской археологии археологического общества, т. II, 1861.
- Оплов Е. В.** О водоносности в связи с атмосферными осадками и другими факторами стока.— Записки императорского Русского географического общества по общей географии, 1916, т. XLVII.
- Отчет по исследованиям рек и изысканиям соединительных водных путей, произведенным партиями Управления внутренних водных путей и шоссежных дорог и округами путей сообщения в 1913 г.** СПб., 1914.
- Павлов А. П.** Вулканы на Земле и вулканические явления во Вселенной. СПб., 1899.
- Павлов А. П.** Геологическая история европейских земель и морей в связи с историей ископаемого человека. М.—Л., 1936.
- Панов Д. Г.** Морфология дна Мирового океана. М.—Л., 1963.
- Пекарский П.** Наука и литература в России при Петре Великом, т. I. СПб., 1862.
- Пендэн Х.** Круговорот воды.— В сб.: Биосфера. М., 1972.
- Перечень внутренних водных путей Азиатской России.** СПб., 1895.
- Перечень внутренних водных путей Европейской России.** СПб., 1907.
- Перри Дж.** Состояние России при нынешнем царе. М., 1871.
- Петров В. В.** Наблюдение над выпарением снега и льда в тенистом месте при различных градусах холода.— Труды Петербургской Академии наук, 1821, т. 1.
- Пилипчук В. И.** Единицы измерения тепловых величин.— Измерительная техника, 1959, № 1.
- Платон.** Сочинения, ч. IV. М., 1879.
- Платон.** Избранные диалоги. М., 1965.
- Плахотник А. Ф.** Краткая история экспедиционных исследований по физической океанологии в СССР.— В сб.: Вопросы истории физической географии в СССР. М., 1970.
- Повесть временных лет.** М.—Л., 1950.
- Подземный сток в Каспийское море.**— Докл. АН СССР, 1962, т. 142, № 3.
- Подземный сток на территории СССР.** М., 1966.
- Полдверт А.** Химия земной коры.— В сб.: Земная кора. М., 1957.
- Полунин Ф. А.** Географический лексикон Российского государства. М., 1773.
- Попов О. В.** Подземное питание рек. Л., 1968.
- Принц Э.** Гидрогеология. М.—Л., 1932.
- Путешествия Христофора Колумба.** М., 1956.
- Радищев А. Н.** Избранные философские сочинения. М., 1949.
- Радинг А. А.** Джемс Уатт и изобретение паровой машины. М., 1924.
- Развитие наук о Земле в СССР.** М., 1967.
- Рамсей У., Оствальд В.** Из истории химии. СПб., 1909.
- Рагманов В. В.** Новые исследования реки Амазонки.— Метеорология и гидрология, 1965, № 8.
- Рихтер Г. Д.** Снежный покров, его формирование и свойства. М., 1945.
- Реклю Э.** Земля. I. Суша. СПб., 1872.
- Родевич В. М.** Обзор произведенных до 1923 г. исследований рек России.— Известия Российского гидрологического института, 1923, № 5.
- Родевич В. М.** Водные ресурсы СССР и их использование.— Известия Государственного гидрологического института, 1932, № 44/45.
- Ронов А. Б.** Общие тенденции в эволюции состава земной коры, океана и атмосферы.— Геохимия, 1964, № 8.
- Ронов А. Б., Ярошевский А. А.** Химическое строение земной коры.— Геохимия, 1967, № 11.
- Росмэслер Э. А.** Вода. СПб., 1862.
- Руби В.** Эволюция гидросферы и атмосферы в связи со специальным рассмотрением вероятного состава древней атмосферы (1955).— В сб.: Земная кора. М., 1957.
- Русанов Б. Д.** Закономерности распространения подземных вод зоны свободного водообмена.— Труды Ленинградского гидрометеорологического института, 1967, вып. 29.
- Рыкачев М.** Экспедиция Challenger'a и новейшие исследования океанов в физическом отношении вообще.— Морской сборник, 1881, № 1, 2, 5.
- Рыкачев М. А.** Колебания уровня воды в верхней части Волги в связи с осадками.— Записки Академии наук, 1895, т. II, № 8.
- Саваренский Ф. П.** Гидрогеология. М.—Л., 1935.
- Самойлов О. Я.** Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. М., 1957.

- Сатклифф Р.* Глобальный водный баланс — геофизическая проблема. — В сб.: Вопросы мирового водного баланса. Л., 1972.
- Сафронов В. С.* Теория происхождения Солнечной системы и науки о Земле. — В сб.: Пути познания Земли. М., 1971.
- Сведения о стояниях уровня воды на реках и озерах Европейской России по наблюдениям на 80 водомерных постах. СПб., 1881.
- Семенов П. П.* Географическо-статистический словарь Российской империи, т. 1—5. СПб., 1863—1886.
- Семенов Н. Н.* Об энергетике будущего. — Наука и жизнь, 1972, № 10 и 11.
- Сергеев В. С.* История древней Греции. М., 1948.
- Симонов В. В.* Эволюция представлений о структуре жидкостей и водных растворов электролитов. Автореф. канд. дис. М., 1971.
- Слихтер Ч.* Подземные воды. СПб., 1912.
- Смит Ф. Г.* Обзор физико-химических свойств надкритических флюидов. — В сб.: Экспериментальные исследования в области петрографии и рудообразования. М., 1954.
- Соколов А. А.* Гидрография СССР. Л., 1964.
- Соколов А. А., Чеботарев А. И.* Очерки развития гидрологии в СССР. Л., 1970.
- Спаский М. Ф., Страхов П. И.* Избранные работы по физике атмосферы. М. — Л., 1951.
- Спафарий Н.* Книга, а в ней писано путешествие царства Сибирского от города Тобольска и до самого рубежа государства Китайского... Записки Русского географического общества по отделению этнографии, 1882, т. X, вып. 1.
- Стариков К. З.* Происхождение солнечной системы и формирование Земли. — В сб.: Происхождение и история Земли. Алма-Ата, 1972.
- Степанов В. Н.* Основные размеры Мирового океана и главных его частей. — Океанология, 1961, т. I, вып. 2.
- Степанов В. Н.* Мировой океан. — В сб.: Круговорот воды. М., 1966.
- Страбон.* География в 17 книгах. М., 1964.
- Страхов Н. М.* Этапы развития внешних геосфер и осадочного породообразования в истории Земли. — Известия АН СССР, серия геологическая, 1962, № 12.
- Страхов П. И.* Краткое начертание физики. СПб., 1810.
- Стрельбицкий И.* Исписание поверхности Российской империи в общем ее составе в царствование императора Александра II. СПб., 1874.
- Судоходный дорожник Европейской России, ч. I—II. СПб., 1854—1855.
- Татищев В. Н.* История Российская с самых древнейших времен, кн. 1. М., 1769.
- Татищев В. Н.* Лексикон Российской исторической, географической, политической и гражданской, ч. I—III. СПб., 1793.
- Тилло А. А.* О длине рек Европейской России. — Известия Русского географического общества, 1883, т. XIX, вып. 3.
- Тилло А. А.* Средняя высота суши и средняя глубина моря. — Известия Русского географического общества, 1889, т. XXV, вып. 2.
- Тимонов В. Е.* Очерк главнейших рек Приамурского края. СПб., 1897.
- Тимофеев Д. А.* Главные водоразделы и развитие гидросети материков. — Доклады Института географии Сибири и Дальнего Востока, 1965, вып. 8.
- Томсон Дж.* История древней географии. М., 1953.
- Труды съезда инженеров-гидротехников в 1892 г. СПб., 1892.
- Уланов Х. К.* Подземный сток в Каспийское море и фильтрация его вод в дно и берега. — Докл. АН СССР, 1965, т. 162, № 1.
- Фаерштейн М. Г.* История учения о молекуле в химии. М., 1961.
- Федосеев И. А.* Развитие гидрологии суши в России. М., 1960.
- Федосеев И. А.* Развитие знаний о происхождении, количестве и круговороте воды на Земле. М., 1967.
- Федосеев И. А.* Начальный период науки об озерах. — Вопросы истории естествознания и техники, 1969, вып. 3 (28).
- Ферсман А. Е.* Вода в истории Земли. — Природа, июнь 1914.
- Ферсман А. Е.* Геохимия, т. I. Л., 1933.
- Фесенков В. Г.* О ранней термической истории Земли. — Астрономический журнал, 1957, т. XXXIV, вып. 1.
- Фесенков В. Г.* Первичное состояние нашей планеты. — Возникновение жизни на Земле. Труды Международного симпозиума 19—24 августа 1957 г. М., 1959.
- Фесенков В. Г.* Единство и взаимосвязанность галактической системы как условие возникновения жизни на планетах. — В сб.: Возникновение жизни во Вселенной. М., 1963.
- Физико-географический атлас мира. М., 1964.
- Филлипов Н. М.* Об изменении уровня Каспийского моря. СПб., 1890.
- Флоренский К. П.* О начальном этапе дифференциации вещества Земли. — Геохимия, 1965, № 8.
- Фок А. А. и Рябов А. А.* Подробный отчет о практических результатах экспедиции по исследованию источников главнейших рек Европейской России. СПб., 1906.
- Фрадкин Н. Г.* Географические открытия. — В кн.: Развитие наук о Земле в СССР. М., 1967.
- Фрадкин Н. Г.* Географические открытия и научное познание Земли. М., 1972.
- Френкель Я. И.* Кинетическая теория жидкостей. М. — Л., 1945.
- Фришман Э. Х.* Природа воды. Л., 1935.
- Фролов Ю. С.* Новые фундаментальные данные по морфометрии Мирового океана. — Вестник Ленинградского университета, 1971, № 6.
- Фюрон Р.* Проблема воды на земном шаре. Л., 1966.
- Хайн В. Е.* Происхождение материков и океанов. М., 1961.

- Хашн В. Е.** Место процессов океанообразования в геотектонической эволюции Земли.— В сб.: История Мирового океана. М., 1971.
- Химия М., 1971.**
- Хорн Р.** Морская химия (структура воды и химия гидросферы). М., 1972.
- Хогинский М. С.** Физическое земледение, или физика земного шара, т. I. СПб., 1852.
- Хржан А. Х.** Очерки развития метеорологии. Л., 1959.
- Хромов С. П.** Метеорология и климатология для географических факультетов. М., 1968.
- Цуриков В. Л.** Основные направления современной океанологии за рубежом.— В сб.: Мировой океан. М., 1970.
- Чеботарев А. И.** Гидрологический словарь. Л., 1964.
- Чемберлин Р. Т.** Геологические доказательства эволюции земной коры.— В сб.: Атмосферы Земли и планет. М., 1951.
- Чернышев М. С.** Иртыш. СПб., 1887.
- Щеиц Г. И.** О половодьях на р. Днепре за тысячелетний период.— Известия Института гидрологии и гидротехники АН УССР, 1955, т. 13 (XX).
- Шелли Х.** Звезды и люди. М., 1962.
- Шмидт О. Ю.** Новая теория происхождения Земли.— Природа, 1946, № 11.
- Шмидт О. Ю.** Четыре лекции о теории происхождения Земли. М.—Л., 1949.
- Шмидт О. Ю.** Роль твердых частиц в планетной космогонии.— Природа, 1956, № 11.
- Шокальский Ю.** Океан. «Энциклопедический словарь» под ред. Брокгауза и Ефрона, т. XXI-A, 1897.
- Шокальский Ю. М.** Океанография. СПб., 1917.
- Шоллер Г.** Основные проблемы определения запасов и направления стока подземных вод в масштабе континентов и земного шара.— В сб.: Вопросы мирового водного баланса. Л., 1972.
- Штернберг А. А.** Состояние воды в надкритической области в связи с проблемами глубинного минералообразования.— Геология рудных месторождений, 1962, № 5.
- Шумский П. А.** Основы структурного ледоведения. М., 1955.
- Шумский П. А., Кренке А. Н.** Современное оледенение Земли и его изменение.— Географический бюллетень, 1964, № 14.
- Щеглов Н. П.** Начальные основания химии. СПб., 1830.
- Щекатов А. М.** Географический словарь Российского государства. СПб., 1801—1809.
- Шукин И. С.** Общая морфология суши, т. I. М., 1934.
- Юргенсон Р. О.** О судоходном состоянии р. Амура с притоками. СПб., 1897.
- Юри Г.** Первичные атмосферы планет и происхождение жизни.— В сб.: Возникновение жизни на Земле. М., 1959.
- Юзневич Г. В.** Инфракрасная спектроскопия воды. М., 1973.
- Якуцени В.** Биография атмосферы.— Наука и жизнь, 1971, № 9.
- Ямнов А. А. и Кунин В. Н.** Некоторые теоретические итоги новейших исследований в районе Узбой в области палеогеографии и геоморфологии.— Известия АН СССР, серия географическая, 1953, № 3.
- Ястребов Е. В.** Уральские горы в «Чертежной книге Сибири» Семена Ремизова.— Вопросы истории естествознания и техники, 1972, вып. 1 (38).
- Adams F. D.** The origin of springs and rivers.— Fennia, 1928a, v. 50.
- Adams F. D.** Rainfall and run-off. Science, 1928b, v. LXII, N 1742.
- Agricola G.** The structure of Earth and forces which change the Earth. «A source book in geology». N. Y.— London, 1939.
- Albrecht F.** Der jährliche Gang der Komponenten des Wärme- und Wasserhaushaltes der Ozeane.— Ber. Deutsch. Wetterdienstes, 1961, N 79, B. II.
- Aristote.** Météorologie. Paris, 1863.
- Bernal J. D., Fowler R. H.** A theory of water and ionic solution, with particular reference to hydrogen and hydroxyl ions.— J. Chem. Phys., Aug., 1933, v. 1, N 8.
- Biswas A. K.** History of Hydrology. Amsterdam — London, 1970.
- Buffon Oeuvres completes**, t. 1. Paris, 1855.
- Bulletin de l'Institut oceanographique**, numero special 2. Monaco, 1968.
- Chamberlin T. C., Salisbury R. D.** Geology. London, 1905.
- Chang Jen-hu, Okimoto Gary.** Global water balance accordins to the Penman approach.— Geogr. Annals, 1970, v. 2, N 1.
- Descartes R.** Oeuvres, v. VII, pts 1, 2. Paris, 1905.
- Dictionary scientific biography**, v. III, IV. N. Y., 1971.
- Dooge J. C. I.** Un bilan hydrologique au XVII<sup>e</sup> siècle.— Houille blanche, nov. 1959.
- Duval L'eau.** Paris, 1962.
- Enciclopedia britanica**, v. II, 1965.
- Halbfass W.** Die Seen der Erde. Gotha, 1922.
- Halbfass W.** Der Sahreswasserhaushalt der Erde.— Petermanns Mitt., 1934, N 5, 6.
- Howard L.** Modifications of clouds and on the principles of their production, suspension and destruction.— Philos. Mag., 1803, v. 16, p. 97—107, 344—357.
- Humphreys.** Physics of theair. N. Y., 1940.
- Internationale Revue d. Hydrobiologie und Hydrographie**, 1913—1914. Bd 6, N 1—6.
- Karstens K.** Eine neue Berechnung der mittleren Tiefe der Ozeane nebst einer vergleichenden Kritik der verschiedenen Berechnungsmethoden. Kiel, 1894.
- Kish G. Adolf Erik Nordenskiöld (1832—1901).** A scandinavian pioneer of the Earth-sciences.
- Труды XIII Международного конгресса по истории науки.** Секция VIII. М., 1974.
- Kopp H.** Beiträge zur Geschichte des Chemie, st. 1. Braunschweig, 1875.
- Kossinna E.** Die Erdoberfläche. Handbuch der Geophysik, Bd 2. Berlin, 1933.

- Krömmel O.* Morphologie der Meeressträume. Leipzig, 1879.
- Krummel O.* Handbuch der Ozeanographie, Bd 1. Stuttgart, 1907.
- Kuenen Ph. H.* The realms of water. London, 1955.
- Kulp J. L.* Origin of the hydrosphere.— Bull. Geol. Soc. of America, 1951, v. 62, N 3.
- Lavoisier A. L.* Oeuvres, t. 1—6. Paris, 1862—1893.
- Loomis.* Mean annual rainfall for different countries of the globe.— Amer. J. Sci., 1882, v. 1; 1883, v. 1.
- Marcinek J.* Der Abfluss von den Landflächen der Erde.— Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin, Math.-naturwiss. Reihe, 1966, Bd. 15, N 3.
- Meinardus W.* Über den Kreislauf des Wassers.— Meteorol. Z., 1911, Bd 28.
- Meinardus W.* Eine neue Niederschlagskarte der Erde.— Petermanns geogr. Mitt., 1934, N 1, 2.
- Meinzer O. E.* Outline of ground water hydrology with definitions.— U.S. Geol. Surv. Water Supply Paper, 1923, N 494.
- Murray.* On the total annual rainfall of the land globe.— Scott. Geogr. Mag., 1887, v. III.
- Murray J.* The depths of the ocean. London, 1912.
- Nace R.* Water of the world.— Natural History, 1964, v. LXXIII, N 1.
- Partington J. R.* An advanced treatise on physical chemistry. London — N. Y., 1955.
- Penck A.* Morphologie der Erdoberfläche, Bd. 1. Stuttgart, 1894.
- Penman H. L.* The water cycle.— Scient. Amer., 1970, v. 223, N 3.
- Perrault P.* The source of water in springs and rivers. (1674). Source books in the history of the sciences. A source book in geology. N. Y.— London, 1939.
- Ricciolto J. B.* Geographiae et hydrographiae reformatae. Bolonia, 1661.
- Reclus E.* La terre. I. Les continents. Paris, 1870.
- Rigaud S.* On the relative quantities of land and water on the surface of the terraqueous globe.— Cambridge Soc. Trans., 1837, v. VI, p. 2.
- Rubey W.* Geologic history of sea water.— Bull. Geol. Soc. America, 1951, v. 62, N 9.
- Schtuckenberg J. Ch.* Hydrographie des Russischen Reiches. St.-P., 1844—1849.
- Schützieler.* Über Grenzen der Ozeane und ihrer Nebenmeere. Petermanns geogr. Mitt., 1970, Bd. 114, N 4.
- Smart J. S., Surkan A. J.* The relations between mainstream length and area in drainage basins (Abstr.).— Trans. Amer. Geophys. Union, 1967, v. 48, N 1.
- Staszewski J.* Historia nauki o Ziemi w zarisie. Warszawa, 1966.
- Strelbitsky J.* Superficie de l'Europe établie.— Publ. Com. Contr. Russe statist. S.-P., 1882.
- Urey H.* The planets. Their origin and development. London, 1952.
- Volger O.* Die wissenschaftliche Lösung des Wasser insbesondere der Quellenfrage mit Rücksicht auf die Versorgung der Städte.— Z. Vereines Deutsch. Ingr., 1877, Bd XXI, H. 11, 9, S. 481—502.
- Wisotski E.* Zeitströmungen in der Geographie. Leipzig, 1897.
- Woźniak Z.* Osady — malo znany skladnik balansu wodnego.— Gaz. obserw. P.I.H.M., 1972, t. 25, N 8.
- Wundt W.* Beziehungen zwischen Mittelwerten von Niederschlag, Abfluss Verdunstung und Lufttemperatur für die Landfläche der Erde.— Dtsch. Wasserwirtsch., 1937, H. 5, 6.
- Wüst G.* Die Verdunstung auf dem Meere. Berlin, 1920.

# ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аббот Х.—165  
 Абрамов Л. С.— 116  
 Авиценна — 7  
 Авогадро А.— 22, 23  
 Авсюк Г. А.— 90, 189, 193  
 Агостини — 69  
 Агрикола Г.— 146, 171  
 Адамс Ф.— 142, 146, 154, 156  
 Аджено М.— 33, 35  
 Айи П.— 48  
 Айткен Дж.— 163  
 Алекин О. А.— 60, 193  
 Аллен Э.— 99  
 Алпатыев А. М.— 110, 115, 116, 137, 138, 193  
 Альбрехт Ф.— 176, 179  
 Альтовский М. Е.— 107, 193  
 Амальди Э.— 29  
 Амонтон Г.— 16  
 Ампер А.— 23  
 Амундсен Р.— 52  
 Анаксимандр — 43  
 Анаксимен — 5  
 Андреев А. П.— 69, 79, 87, 193  
 Андримон Р.— 98  
 Антошко Я. Ф.— 49, 193  
 Анучин Д. Н.— 69, 70, 87, 193  
 Араго Ф.— 34, 164, 165, 193  
 Аристотель — 6, 7, 15, 54, 118, 138, 139, 140, 142, 143, 144, 153  
 Армстронг Г.— 26  
 Аррениус С.— 115  
 Архимед — 16  
 Астон Ф.— 24  
 Ауэрбах Ф.— 29, 193  
 Афанасьев Г. Д.— 95, 97, 193  
 Афанасьев Т. П.— 106, 188, 197  
 Бабине Ж.— 151, 172  
 Бальбоа В.— 49  
 Баранов В. И.— 122, 193  
 Баренц В.— 51  
 Барнес В.— 29, 30  
 Бартольд В. В.— 80, 135, 193  
 Баттис М.— 107  
 Батуев — 29, 193  
 Бауэр А.— 114  
 Бах А. Н.— 38  
 Бахтурин — 193  
 Беат — 47, 49  
 Безруков П. Л.— 130, 193  
 Бейкер Дж.— 65, 193  
 Бейтс Д. Р.— 39, 108, 193  
 Бекетов Н. Н.— 29  
 Беклемишев А. В.— 16, 193  
 Бекевич-Черкасский А.— 73  
 Белинков С. Ю.— 175, 186  
 Беллинг К.— 26  
 Беллинсгаузен Ф. Ф.— 51  
 Белоусов В. В.— 130, 193  
 Беляев И. Д.— 71, 193  
 Белянкин Д. С.— 99, 193  
 Берг Л. С.— 69, 70, 80, 87, 135, 136, 193  
 Бергман Т.— 52, 158  
 Бергхауз Г.— 52, 65, 66  
 Берд Р.— 52  
 Бердж Р.— 24  
 Бердж Э.— 69, 70  
 Беринг В.— 51, 74  
 Бернал Дж.— 27, 30, 31, 32, 35, 193  
 Бернет Т.— 60, 120  
 Бернулли И.— 61  
 Берцелиус И.— 23  
 Бехайм М.— 47, 50  
 Биндеман Н. Н.— 188, 193  
 Бисвас А.— 152  
 Блзняк Е. В.— 84  
 Блох А. М.— 33, 97, 193  
 Блэгден — 14  
 Блэк Дж.— 10, 11, 14, 17, 18, 19, 20  
 Богословский Б. Б.— 70, 193  
 Богуславский Н. А.— 78, 83, 193  
 Бойль Р.— 7, 8, 10, 16, 60, 61  
 Больштедт А.— 7, 47, 144  
 Бомон Эли де — 131  
 Борелли Дж.— 17  
 Боуэн Н.— 94, 193  
 Бочков А. П.— 186  
 Браун А. Г.— 125, 126, 193  
 Бриджмен П.— 34  
 Бриквед Ф.— 24  
 Брикнер Э.— 135, 137, 165, 169, 170, 171, 175, 176, 179, 184, 193  
 Броунов Ш. И.— 70  
 Бруевич С. В.— 61  
 Брук Дж.— 55  
 Брукс К.— 173  
 Брэгг В.— 29  
 Буан Э.— 8, 193  
 Будыко М. И.— 40, 176, 177, 179, 180, 181, 182, 184, 193, 194  
 Буллард Э.— 136, 194  
 Бунзен Р.— 16  
 Бутаков А. И.— 78  
 Бутлеров А. М.— 20  
 Быков В. Д.— 138, 194  
 Быков Г. В.— 23, 194  
 Бэда — 47  
 Бэкон Р.— 47  
 Бэкон Ф.— 152, 153, 163  
 Бэр — 80  
 Бюаш Ф.— 54, 63, 64  
 Бютнер Э. К.— 136, 194  
 Бюффон Ж.— 52, 57, 60, 91, 120, 167, 179, 194  
 Валлисниери А.— 156, 171, 183  
 Вальден П. И.— 5, 7, 194  
 Вальтер И.— 121, 135, 194  
 Ван-Гельмонт И.— 7, 8, 10, 146, 160  
 Ван-Хайс Ч.— 92, 95, 98  
 Варбург — 19  
 Варений Б.— 52, 56, 60, 63, 70, 91, 118, 149, 150, 152, 158, 194  
 Васко да Гама — 49  
 Ватсон Ф.— 133  
 Вашингтон Г.— 103  
 Великанов М. А.— 100, 194  
 Венюков М. И.— 135  
 Верден К.— 73  
 Вернадский В. И.— 4, 5, 14, 15, 24, 39, 41, 42, 52, 59, 60, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 110, 112, 113, 115, 116, 117, 131, 132, 133, 134, 136, 137, 138, 143, 155, 162, 180, 191, 192, 194  
 Вернон Г.— 25  
 Верещагин Г. Ю.— 79, 194  
 Веселовский К. С.— 135  
 Вивиади В.— 152  
 Вили — 133  
 Вильке И.— 17  
 Вилькицкий Б. А.— 52  
 Вильямс В. Р.— 137, 194

- Виноградов А. П.— 38, 61, 103, 105, 117, 124, 126, 127, 128, 129, 132, 133, 137, 194  
 Вистон В.— 120  
 Витрувий П. М.— 6, 142, 143, 155, 194  
 Влелфорд Б.— 135  
 Восйков А. И.— 66, 67, 69, 70, 91, 135, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 179, 180, 184, 185, 194  
 Вожняк З.— 182  
 Вознесенский А. В.— 173, 174, 175, 194  
 Воклен — 20  
 Вольни М.— 172  
 Воскресенский К. П.— 186, 189, 194  
 Вронский Б. И.— 133, 134, 194  
 Вудворд Дж.— 120  
 Вукалович М. П.— 34, 97, 197  
 Вульфсон В.— 40, 194  
 Вундт В.— 176  
 Высоцкий Г. Н.— 184  
 Высоцкий Э.— 154, 155  
 Ван (Вин) В.— 32, 33, 35  
 Вюст Г.— 58, 173, 175, 176, 179  
 Гавриленко Е. С.— 92, 97, 110, 194  
 Гадлей Г.— 163, 164  
 Галилей Г.— 8, 16, 19, 152, 194  
 Галлей Э.— 16, 154, 155, 156, 157, 162, 163  
 Гальбфас В.— 69, 70, 112, 113, 114, 183  
 Ганн Ю.— 115, 172  
 Гари О.— 178, 179, 181, 182  
 Гаюи Р.— 41  
 Гвоздецкий — 89, 194  
 Гей-Люссак Ж. Л.— 21, 22, 34  
 Гейле С.— 10  
 Гейнц Е. А.— 166, 185, 194  
 Гейстбек А.— 69  
 Гекатей — 43, 44  
 Гельфер Я. М.— 19  
 Гендерсон Л.— 39, 194  
 Георги И. Г.— 76  
 Герасимов И. П.— 67, 194  
 Герике О.— 61, 152  
 Геродот — 43, 45, 64, 65, 135, 194  
 Герон Александрийский — 152  
 Герсеванов М. Н.— 83, 194  
 Герцен А. И.— 5, 194  
 Гершель Дж.— 52  
 Гершельман Ф. Э.— 194  
 Геттон Дж.— 163  
 Гетц В.— 135, 136  
 Гефер Г.— 132, 194  
 Гильденштедт И. А.— 76, 77  
 Гильзенбах — 140, 194  
 Глушков В. Г.— 88, 116, 187, 194  
 Гмелин И.— 74  
 Гмелин С. Г.— 76, 77, 159, 160, 194  
 Гнусин Д. Д.— 82, 194  
 Говард Л.— 163  
 Годунов Борис — 72  
 Годунов П. И.— 72  
 Головиш В. М.— 51  
 Гомер — 43  
 Горадий — 194  
 Гордеев Д. И.— 107  
 Горский Н. П.— 144, 194  
 Грабовский А. И.— 163  
 Григори Дж.— 135  
 Григорьев А. А.— 40, 95, 109, 194  
 Григорьев В. В.— 79  
 Григорьев С. М.— 41, 195  
 Григорьева А. С.— 116, 184, 195  
 Гроль М.— 55  
 Грум-Гржимайло Г. Е.— 135  
 Гудзон Г.— 51  
 Гук Р.— 10, 16, 29  
 Гумбольдт А.— 8, 10, 21, 52, 55, 135, 152, 163, 168, 195  
 Гутенберг Б.— 122, 195  
 Гюйгенс Х.— 16  
 Давыдов Л. К.— 90, 195  
 Даламбер — 12  
 Даленсе И.— 16  
 Дальтон Дж.— 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 34, 138, 158, 161, 162, 195  
 Дашилов А. Д.— 137, 195  
 Даннеман Ф.— 7, 8, 139, 195  
 Данте А.— 47  
 Дворов И. М.— 188, 195  
 Дебай П.— 28, 195  
 Девиль Ш.— 131  
 Девис К.— 11, 35, 195  
 Дезаюлье Дж.— 18  
 Дейман Дж.— 55  
 Деймани — 15  
 Декарт — 8, 9, 60, 118, 119, 146, 147, 160, 162, 195  
 Деламетери Ж. К.— 162  
 Делебек А.— 69  
 Делес А.— 92, 95, 96  
 Делюк Г.— 161  
 Делюк Ж.— 13, 15, 16, 17, 18, 138, 161  
 Дембовский Б. И.— 79  
 Демокрит — 20, 118, 134, 139, 142  
 Девнисон Д.— 29  
 Дерпгольд В. Ф.— 95, 96, 97, 103, 105, 110, 132, 134, 195  
 Джабир ибн-Хайян (Гебер) — 7, 8  
 Джеффрис Г.— 124, 195  
 Джибор А.— 38, 196  
 Джонс М.— 36  
 Джонстон К.— 168, 179  
 Джуа М.— 7, 13, 195  
 Джудей С.— 69, 70  
 Дидро Д.— 12  
 Дитрих Г.— 24, 33, 63, 195  
 Диттмар — 60  
 Добровольский А. Д.— 64, 195  
 Докучаев В. В.— 86, 135  
 Доманицкий А. П.— 90, 195  
 Дорандт Ф. Б.— 80  
 Дорфман Я. Г.— 9, 13, 14, 15, 195  
 Дреббель К.— 16  
 Дрейер Н. Н.— 188  
 Дриженко Ф. К.— 87  
 Дроздов О. А.— 115, 171, 176, 180, 183, 184, 195  
 Дубах А. Д.— 184  
 Дубровина Р. Г.— 90, 195  
 Дэви Г.— 15  
 Дэвис В.— 70  
 Дэвис Дж.— 51  
 Дэй А.— 94, 99  
 Дэй Дж.— 11, 195  
 Дэнфорд М. Д.— 31, 35  
 Дюкло Ж.— 26  
 Дюлонг — 18, 34  
 Дюма Д.— 23  
 Дюнин А. К.— 91  
 Дюфур Л.— 37  
 Ермак — 71  
 Жилинский И. И.— 85, 86, 195  
 Жирмуцкий А. М.— 100, 195  
 Заварицкий А. Н.— 94, 96, 195  
 Завадский К.— 76, 195  
 Загоскин Н. П.— 71, 195  
 Зайков Б. Д.— 175, 186, 195  
 Заломов В.— 117  
 Зброжек Ф. Г.— 86  
 Зенкер И. С.— 183, 195  
 Зенкевич Л. А.— 41, 130, 195  
 Зильберман — 19  
 Зубенок Л. И.— 176, 177, 178, 179, 182, 195  
 Зубов Н. Н.— 63, 64, 80  
 Зубов В. П.— 145, 195  
 Зупан А.— 56, 70, 168, 170, 171  
 Зюринг — 115  
 Зюсс Э.— 108, 131, 132, 137, 173, 195  
 Иванов А. Т.— 187  
 Иванов В. А.— 183  
 Ивашинцов Н. А.— 79  
 Игнашович Н. К.— 102  
 Илс Г.— 18  
 Ильин В. А.— 59, 111, 195  
 Ильинский М. А.— 29  
 Индикоплов Козьма — 47, 49  
 Иоани Болгарский — 144

- Иогансон Е. М.— 84  
 Иона М.— 28  
 Исаева А. И.— 90, 195  
 Исаченко А. Г.— 47, 65, 195  
 Исбаси М.— 130  
 Кабот Дж.— 48  
 Кавендиш Г.— 11, 12, 13, 14, 15, 19, 20  
 Кадик А. А.— 94, 195  
 Казвини — 144  
 Кайё А.— 114  
 Калесник С. В.— 110, 114, 195  
 Калинин Г. П.— 66, 110, 111, 113, 114, 138, 179, 180, 181, 184, 185, 195  
 Кальп Дж.— 103, 105, 117, 124, 125, 127, 136, 137  
 Камен М.— 38  
 Каменский А. В.— 9, 14, 196  
 Каменский Г. Н.— 183  
 Каминский А. А.— 179, 196  
 Камшилов М. М.— 38, 196  
 Канницаро С.— 24  
 Кант И.— 52, 57, 60, 120, 121, 135, 158, 196  
 Кантон Дж.— 17, 37  
 Каньяр де ла Тур — 34  
 Карлейль А.— 15  
 Каррингтон Р.— 54, 196  
 Карстенс К.— 58, 60  
 Касаткин И. И.— 184  
 Кастелли Б.— 152  
 Катцов С.— 31  
 Кашин К. И.— 184  
 Кедровливанский В. Н.— 152, 196  
 Кейл Дж.— 157  
 Кейльгак К.— 100, 146, 162, 171, 196  
 Келлер Р.— 135, 164, 173, 184, 196  
 Кёниг — 34  
 Кешлер — 171  
 Кешпен В. П.— 81, 196  
 Кеферштейн Х.— 171, 172  
 Кинг Л. С.— 67, 196  
 Кирван Р.— 19  
 Кирхер А.— 147, 148, 157  
 Кларамонс К.— 52, 56, 60  
 Кларк Ф.— 61, 93, 94, 103, 127  
 Клауд П.— 38, 196  
 Клёден Г.— 52, 65, 66, 67, 69, 196  
 Книпович Н. М.— 87, 113  
 Коза де ла — 54  
 Козырев А. А.— 100, 195  
 Койпер Дж.— 122, 136, 196  
 Колумб Х.— 47, 48  
 Комаров В. Д.— 91  
 Кононов В. И.— 111, 197  
 Конфедератов И. Я.— 9, 14, 18, 19, 196  
 Копелиович — 107, 196  
 Копп Г.— 14  
 Коцылов Е.— 76  
 Коржинский Д. С.— 96, 97  
 Коржуев С. С.— 67, 69, 196  
 Корт В. Г.— 178, 196  
 Коссель В.— 27  
 Коссина Э.— 58, 59, 60, 113, 114, 190  
 Котляков В. М.— 91  
 Котта Б.— 57, 58, 60, 121, 132, 196  
 Коцебу О. Е.— 51  
 Кочерин Д. И.— 185  
 Кратес Милосский — 43, 44  
 Крафт Г. В.— 52, 57, 60, 158, 159, 161, 162, 165, 196  
 Крашенинников С. П.— 74, 75, 196  
 Крейс К.— 73, 196  
 Кренке А. Н.— 115, 200  
 Кривошуйский А. Е.— 130, 138, 196  
 Кринов Е. Л.— 133, 196  
 Крицман В. А.— 23, 194  
 Кропоткин П. Н.— 129, 135, 196  
 Кросье — 133  
 Крузенштерн И. Ф.— 51  
 Крюммель О.— 56, 58, 60, 63  
 Куделин Б. И.— 115, 187, 188, 189, 196  
 Кудрявцев П. С.— 14, 18, 196  
 Кузанский Н.— 152  
 Кузин П. С.— 186  
 Кузнецова Л. П.— 177, 179, 184, 185, 196  
 Кузьмин П. П.— 91  
 Кук Дж.— 51  
 Кулье П.— 163  
 Кунин В. Н.— 80, 196  
 Куэнен Ф.— 129, 132, 134, 137  
 Кювье Ж.— 137, 196  
 Кюн — 157  
 Лавуазье А.— 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20  
 Ладенбург А.— 15, 20, 196  
 Лазарев М. П.— 51  
 Ламакин В. В.— 76, 196  
 Ламарк Ж. Б.— 15, 163  
 Лапарак А.— 56  
 Лаплас П. С.— 14, 17, 19, 54, 56, 120, 121  
 Латимер — 29  
 Лауэ М.— 29  
 Лебедев А. Ф.— 97, 98, 100, 172, 184, 196  
 Лебедев Д. М.— 72, 196  
 Лебедев Е. Б.— 94, 195  
 Леваковский И. Ф.— 83, 196  
 Леви Г. А.— 31, 35  
 Левин Б.— 122, 196  
 Левинсон-Лессинг Ф. Ю.— 108, 114, 130, 196  
 Левкинг — 20  
 Лейбниц Г. В.— 119, 196  
 Лейтер Г.— 135  
 Ленц Р. Э.— 79  
 Ленц Э.— 137, 168, 172, 196  
 Леонардо да Винчи — 17, 41, 144, 145, 146, 152, 162, 196  
 Леопольд Л.— 107  
 Лепехин И. И.— 76, 159, 160, 196  
 Ле Руа — 138, 161, 162  
 Либих Ю.— 14, 196  
 Линслей Р.— 67, 105, 106, 196  
 Лисянский Ю. Ф.— 51  
 Литке Ф. П.— 51  
 Литовиц — 35  
 Личков Б. Л.— 102, 129, 196  
 Ломоносов М. В.— 10, 11, 17, 65, 75, 158, 159, 196  
 Лохтин В. М.— 83, 196  
 Лукашевич И. Д.— 60, 94, 95, 97, 102, 108, 123, 124, 132, 196  
 Лукреций Кар — 140, 141, 142, 196  
 Лукьянова С. А.— 54, 196  
 Лумис Э.— 168, 169  
 Львович М. И.— 90, 105, 106, 110, 111, 113, 114, 115, 116, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 184, 187, 188, 197  
 Льюис Г.— 24, 27, 29  
 Любимова Е. А.— 122, 197  
 Лютгенс — 175  
 Ляйель Ч.— 128, 135, 163, 197  
 Магеллан Ф.— 49, 54  
 Магидович И. П.— 65, 197  
 Магницкий В. А.— 130, 197  
 Маэпа — 73  
 Майов — 10  
 Макаренко Ф. А.— 95, 96, 97, 105, 106, 111, 117, 130, 133, 179, 183, 187, 188, 197  
 Макаров С. О.— 51  
 Макдональд Р.— 24  
 Макеев Э. А.— 183, 197  
 Маюер П.— 12, 13  
 Маковельский А. С.— 6, 139, 197  
 Макробий — 47  
 Максимович Н. И.— 73, 83, 166, 185, 197  
 Мацдевилл Дж.— 47  
 Маршотт Э.— 154, 155, 156, 162, 171, 172  
 Марков Е. С.— 69, 70, 197  
 Марков К. К.— 39, 115, 197  
 Марсиллы Л.— 54  
 Мартьякевич Г. М.— 109, 197  
 Мархинин Е. К.— 132, 197  
 Марчи — 35  
 Марчиак И.— 178, 179



- Марш Г.— 151, 172, 197  
 Масуди — 144  
 Мейер Г.— 29  
 Мейнардуc В.— 113, 115, 116, 173, 174, 175, 179, 183  
 Мейндер О.— 100  
 Мекке Р.— 24  
 Мельников О. А.— 122, 197  
 Менард Г.— 59, 60  
 Менделеев Д. И.— 12, 16, 20, 23, 34, 37, 38, 197  
 Менцель Д.— 24  
 Меншуткин Б. Н.— 8, 15, 197  
 Менье Ж.— 15, 20  
 Менье С.— 133, 135, 136, 197  
 Меркатор Г.— 54  
 Меррей Дж.— 51, 54, 56, 58, 60, 61, 69, 108, 168, 169, 170, 179, 197  
 Мерфи Г.— 24  
 Мессершмидт Д. Г.— 74  
 Месхетели А. В.— 183  
 Миддлтон У.— 9, 13, 18, 161, 163, 197  
 Милл Х.— 69  
 Миллер Г.— 75  
 Милликен Р.— 28  
 Мильков Ф. Н.— 39, 40, 109, 197  
 Молчанов И. В.— 87, 90, 197  
 Монж Г.— 15, 20  
 Мошин А. С.— 180  
 Морган Дж.— 31  
 Мори М.— 40, 55, 165, 167, 197  
 Муравейский С. Д.— 41, 197  
 Муратов М. В.— 130, 197  
 Мушенбрук П.— 18, 158  
 Мушкетов И. В.— 135  
 Мэйсон Б.— 133, 197  
  
 Нагаев В. В.— 87  
 Нансен Ф.— 52  
 Невельской Г. И.— 79  
 Нежиновский Р. А.— 90, 189  
 Неймайр Р.— 120, 197  
 Нейс Р.— 52, 60, 103, 105, 107, 113, 114, 115, 178, 179, 182, 183, 197  
 Немальцев А. С.— 176, 197  
 Немети — 35  
 Никитин А.— 71  
 Никитин С. Н.— 100, 135  
 Николаев Н. И.— 95, 198  
 Никольсов В.— 15  
 Новиков Н. И.— 72, 75  
 Норденшельд А. Э.— 121  
 Ньютон И.— 16, 18, 19, 20, 181, 198  
 Ньюэлл Ф. Х.— 165  
  
 Овенден М.— 38, 198  
 Овидий — 41  
 Овчинников А. М.— 95, 97, 101, 102, 109, 110, 198  
 Огиевский А. В.— 187  
 Озерецковский Н. Я.— 76  
 Олеарий А.— 157, 198  
 Ольдекоп Э.— 183, 198  
 Ольк Ф.— 135  
 Опарин А. И.— 38, 198  
 Опшюков Е. В.— 83, 135, 165, 166, 170, 185, 198  
 Орлов С. В.— 133  
 Ортелий А.— 51, 52  
 Оствальд В.— 10, 198  
 Павлов А. П.— 124, 130, 131, 198  
 Палисси Б.— 7, 151, 152, 153  
 Паллас П. С.— 76, 159, 160  
 Панов Д. Г.— 58, 198  
 Папа Дж.— 9  
 Папен Д.— 9, 17, 154  
 Папен Н.— 146, 147  
 Парацельс Т.— 8  
 Парменид — 43  
 Парт И.— 135  
 Паскаль Б.— 152  
 Пассарге С.— 135  
 Пейкер К.— 70  
 Пекарский П. 74, 198  
 Пенк А.— 52, 56, 67, 69, 70, 114, 135, 165  
 Пенман Х.— 106, 114, 115, 178, 179, 188  
 Первухин М. А.— 70  
 Перри Дж.— 73, 155, 198  
 Перро П.— 153, 154, 155, 156, 171  
 Петерсон Х.— 133  
 Петр I — 72, 73, 74, 75, 79  
 Петров В. В.— 15, 162, 198  
 Петрусевич — 80  
 Пешель О.— 56  
 Пилипчук Б. И.— 19, 198  
 Пирри Р.— 52  
 Пифагор — 5  
 Пифей — 44  
 Платон — 6, 44, 118, 139, 142, 143, 198  
 Плахотник А. Ф.— 59, 198  
 Плейфер — 67  
 Плиний Старший — 7, 54, 135, 142  
 Плисов — 78  
 Плот Р.— 154  
 Погосян Х. П.— 184  
 Полдерварт А.— 61, 93, 103, 104, 105, 106, 107, 113, 114, 125, 130, 198  
 Полинг — 35  
 Полуин Ф. А.— 75, 76, 159, 198  
 Поляк Б. Г.— 111, 197  
 Поляков Б. В.— 187  
 Помпионий Мела — 44, 45  
 Попп — 35  
 Попов О. В.— 187, 188, 198  
 Посидоний — 43, 54  
 Поспелов К. Е.— 78  
 Пржевальский Н. М.— 80  
 Принц Э.— 92, 96, 100, 198  
 Пристли Дж.— 11, 12, 13, 14, 15, 19  
 Пруст Ж. Л.— 21  
 Пти — 18  
 Птолемей — 44, 46, 47, 64  
 Пузыревский Н. П.— 84  
 Пуллар Ф.— 69  
 Пушкирев — 76  
 Пушаровский Ю. М.— 130  
 Радищев А. Н.— 9, 198  
 Раддиг А. А.— 14, 17, 18, 19, 34, 198  
 Рауумовский К. Г.— 75  
 Рамаэй В. (Рамсей У.) — 10, 26, 198  
 Рао Р.— 26, 27  
 Распопов М. П.— 187  
 Рахманов В. В.— 178, 198  
 Рейнике Р.— 26  
 Реклю Э.— 56, 60, 65, 168, 179, 198  
 Ремезов С. У.— 72  
 Ренальдини — 16  
 Рентген В.— 29  
 Рентген Э.— 25  
 Реньо А.— 19, 34, 37  
 Реомюр Р.— 17  
 Риго С.— 52  
 Риттер И.— 15  
 Рихман Г.— 17  
 Рихтгофен Ф.— 70  
 Рихтер Г. Д.— 91, 198  
 Рихтер И. Г.— 100  
 Рихтер Э.— 69  
 Риччиоли Дж.— 52, 151, 154, 157, 167, 179  
 Родебуш — 29  
 Родевич В. М.— 84, 85, 90, 198  
 Ронов А. Б.— 103, 105, 129, 198  
 Росмэслер Э.— 52, 65, 128, 198  
 Росс Дж.— 55  
 Рубен С.— 38  
 Руби В.— 94, 123, 125, 126, 127, 131, 132, 134, 136, 198  
 Румфорд (Томпсон Б.) — 16, 17  
 Русанов Б. Д.— 107, 198  
 Рыкачев М. А.— 55, 91, 166, 198  
 Рычков П. И.— 75, 159  
  
 Саваренский Ф. П.— 92, 101, 109, 110, 111, 183, 187, 192, 198  
 Самойлов О. Я.— 30, 31, 32, 35, 111, 198  
 Сафронов, В. С.— 121, 199  
 Сакклифф Р.— 116, 199  
 Свердруп Г.— 36  
 Сеген — 20  
 Сезерленд В.— 26  
 Селянинов — 79

- Семенов-Тянь-Шанский  
П. П.— 79, 80, 81  
Сенарт — 147  
Сенека — 7, 138, 142, 171  
Синюков В. В.— 33, 199  
Скотт Р.— 52  
Скофилд Р.— 14  
Слихтер Ч.— 91, 92, 100  
Сметанин С.— 76  
Смит С.— 59, 60  
Смит Ф. Г.— 96, 114, 199  
Соболев В. С.— 94, 96, 97, 195  
Советов С. А.— 87  
Соймонов Ф. И.— 73  
Соколов А. А.— 89, 90, 109, 114, 179, 199  
Соколов В. А.— 135  
Соловьев А. И.— 49, 193  
Соссюр О.— 18, 161  
Спасский М. Ф.— 161, 199  
Стариков К. З.— 121, 199  
Сташевский И.— 44, 151  
Стевин С.— 152  
Степанов В. Н.— 59, 60, 179, 180, 199  
Столетов Н. Г.— 80  
Страбон — 43, 44, 135, 138, 140, 199  
Страхов Н. М.— 128, 199  
Страхов П. И.— 161, 163, 199  
Стрельбицкий И.— 65, 81  
Строкина Л. А.— 177, 179, 180, 194  
Стюарт Г.— 29  
Суетова И. А.— 115, 197  
Сюррель А.— 67
- Тамман Г.— 26, 34  
Танфильев Г. И.— 135  
Татищев В. Н.— 72, 74, 75, 76, 159, 165, 199  
Тверской П. И.— 183  
Тейс Р. В.— 38, 194  
Тейхман О. О.— 84  
Тилло А. А.— 52, 54, 55, 56, 80, 82, 86, 199  
Тимонов В. Е.— 83, 84, 199  
Тимофеев Д. А.— 67, 199  
Томсен Ю.— 25  
Томсон В.— 55  
Томсон Дж.— 65, 142, 199  
Томсон У.— 51, 56  
Торичелли Э.— 152  
Торнвейт Ч.— 184  
Третьяков В. Д.— 186  
Тривальд М.— 9  
Труствик П.— 15  
Туттл О.— 94, 193
- Уайльдт Р.— 133  
Уайтинг Г.— 25  
Уатт Дж.— 9, 13, 14, 17, 18, 19
- Уитни Дж.— 135  
Уланов Х. К.— 183, 199  
Уле В.— 69  
Уоррен Б.— 31  
Уошбёрн Э.— 24  
Уэльс В.— 162
- Фавр — 19  
Фадеев П. А.— 81  
Фаерштейн М. Г.— 22, 23, 199  
Фалес — 5, 43, 139, 142, 143  
Фальк И. П.— 76  
Фаренгейт Д.— 16, 17  
Фаулер Р.— 27, 30, 31, 32, 35, 193  
Федосеев И. А.— 57, 70, 154, 199  
Ферсман А. Е.— 93, 124, 132, 172, 199  
Фесенков В. Г.— 122, 124, 125, 199  
Фидман А. И.— 84  
Филиппов Н. М.— 167, 199  
Филиппсон А.— 135  
Фишер Т.— 135  
Фламель Н.— 7  
Флеминг Р.— 36  
Флерье К.— 54, 108  
Флит Р.— 114  
Флоренский К. П.— 129, 199  
Фольгер О.— 128, 172  
Фонтана — 146  
Форель Ф. А.— 69, 70  
Форшлинд — 35  
Фоссий И.— 151, 152  
Фохт И.— 96  
Фрадкин Н. Г.— 44, 89, 199  
Френкель Я. И.— 32, 199  
Фрицман Э. Х.— 24, 29, 199  
Фрицше Р.— 170, 173, 175, 179  
Фролов Ю. С.— 59, 199  
Фрэнк Г.— 32, 33, 35  
Фуллер М.— 92, 106  
Фуркруа А.— 20, 25  
Фигрон Р.— 107, 199
- Ханн В. Е.— 92, 93, 130, 200  
Ханыков Я. В.— 78  
Харада И.— 130  
Хент Т.— 173  
Хентингтон Э.— 135  
Хетчинсон Дж.— 70  
Ходж П.— 133  
Холл Л.— 31  
Холодилин Н. А.— 54, 196  
Хольцман Б.— 184  
Хорн Р.— 33, 35, 36, 200  
Хотинский М. С.— 52, 200  
Хргян А. Х.— 152, 160, 161, 163, 200  
Хромов С. П.— 179, 200
- Хэмфрейс А.— 165  
Хэмфрейс В.— 115, 200
- Цейнер Г.— 34  
Цельсий А.— 17  
Пинзерлинг В. В.— 184  
Цуриков В. Л.— 130, 200
- Чапг Джен-Ху — 178, 179, 181, 182  
Чеботарев А. И.— 89, 110, 111, 200  
Чемберлин Р. Т.— 125, 200  
Чернышев М. С.— 83, 200  
Черский И. Д.— 79  
Чирвинский П. Н.— 117  
Чириков А. И.— 51
- Шарова В. Я.— 177  
Шепли Х.— 121, 200  
Шерага — 35  
Шерваль — 78  
Шильдс Д.— 26  
Ширакаки А.— 47  
Шмидт О. Ю.— 121, 122, 123, 200  
Шокальский Ю. М.— 58, 63, 87, 200  
Шотт С.— 173  
Штерьяберг А. А.— 97, 200  
Штукенберг И. Х.— 78  
Шубаев Л. П.— 53  
Шумский П. А.— 34, 115, 200  
Шюблер — 172  
Шютцлер А.— 64
- Щеглов Н. П.— 19, 200  
Щекатов А. М.— 76, 200  
Щукин И. С.— 67, 200
- Эверлинг А. В.— 63, 64  
Эйкен А.— 33  
Эйринг — 35  
Эйхвальд Э. И.— 121  
Экгольд Н.— 135  
Эккард В.— 135  
Эгинитис Д.— 135  
Эли де Бомон — 172  
Эмбо Э.— 101  
Эмпедокл — 5, 6, 37  
Эндрюс Т.— 34  
Эпикур — 20  
Эпинус Ф. У.— 161, 162  
Эратосфен — 44  
Эри В.— 40
- Юргенсон Р. О.— 83  
Юри Г.— 24, 40, 109, 121, 123, 125, 136, 200  
Юхневич Г. В.— 36, 200
- Якуцени В.— 39, 200  
Ямнов А. А.— 80, 200  
Ястребов Е. В.— 73, 200  
Ярошевский А. А.— 103, 105, 198

Adams F. D.— 142, 146, 154, 156, 200  
 Agricola G.— 146, 200  
 Aristote — 6, 200  
 Albrecht F.— 200  
 Bernal J. D.— 31, 200  
 Biswas A. K.— 152, 200  
 Buffon J. L.— 57, 200  
 Chamberlin T. C.— 133, 200  
 Chang Jen-hu — 178, 200  
 Descartes R.— 9, 60, 147, 200  
 Dooge J. C.— 154, 200  
 Duval — 37, 200  
 Fowler R. H.— 31, 200  
 Gary O.— 178, 200  
 Halbfass W.— 70, 113, 183, 200  
 Humphreys W. J.— 115, 200  
 Howard L.— 200  
 Karstens K.— 58, 200  
 Kish G.— 121, 200  
 Kopp H.— 14, 200  
 Kossinna E.— 59, 113, 114, 200  
 Krümmel O.— 58, 200  
 Kuenen Ph.— 129, 132, 201  
 Kulp J. L.— 103, 127, 136, 201  
 Lavoisier A.— 11, 12, 15, 201  
 Loomis E.— 168, 201  
 Marcinek — 178, 201  
 Meinardus W.— 115, 173, 201  
 Meinzer O.— 100, 201  
 Merray J.— 54, 58, 168, 201  
 Nace R.— 113, 201  
 Partington J. R.— 16, 201  
 Penck A.— 52, 201  
 Penman H. L.— 178, 201  
 Perrault P.— 153, 201  
 Reclus E.— 60, 168, 201  
 Ricciolio — 52, 151, 201  
 Rigaud S.— 52, 201  
 Rubey W.— 94, 125, 201  
 Salisbury R. D.— 133, 200  
 Schützler — 64, 201  
 Schtuckenberg J. Ch.— 201  
 Smart J. S.— 67, 201  
 Staszewski J.— 151, 201  
 Strelbitsky J.— 65, 201  
 Surkan A. J.— 67, 201  
 Urey H.— 123, 201  
 Volger O.— 172, 201  
 Wisotzki E.— 56, 147, 154, 201  
 Woźniak Z.— 182, 201  
 Wundt W.— 176, 201  
 Wüst G.— 173, 201

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	3
<i>Глава I</i>	
<b>ВОДА КАК ВАЖНЕЙШЕЕ ПРИРОДНОЕ ВЕЩЕСТВО</b>	
Представление о воде как об одном из основных начал природы . . . . .	5
Открытие химического состава воды . . . . .	10
Изучение воды как химического соединения . . . . .	20
Состав воды . . . . .	20
Структура и свойства воды . . . . .	24
Значение воды в природных процессах . . . . .	37
<i>Глава II</i>	
<b>ГИДРОГРАФИЯ ЗЕМЛИ И МАССЫ ВОДЫ В РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТЯХ ГИДРОСФЕРЫ</b>	
Вода на поверхности планеты . . . . .	43
Представления о Земле и о соотношении суши и моря . . . . .	43
Мировой океан . . . . .	54
Водные объекты суши . . . . .	64
Подземные воды . . . . .	91
Понятие гидросферы. Общее количество воды на земном шаре . . . . .	108
<i>Глава III</i>	
<b>ГЕНЕЗИС ВОДЫ И ОБРАЗОВАНИЕ ГИДРОСФЕРЫ</b>	
Образование гидросферы . . . . .	118
Баланс воды на Земле в ходе геологического времени . . . . .	134
<i>Глава IV</i>	
<b>КРУГОВОРОТ ВОДЫ НА ЗЕМЛЕ</b>	
Представления натуралистов древности . . . . .	139
Представления натуралистов средневековья и эпохи Возрождения (до последней четверти XVII в.) . . . . .	143
Опытные исследования и выработка правильных представлений (до первых лет XIX в.) . . . . .	153
Дальнейшее изучение проблемы. Выяснение глобальной схемы и баланса круговорота воды . . . . .	164
Исследования с начала XIX до первых лет XX в. . . . .	164
Исследования XX в. . . . .	173
Водные ресурсы и водный баланс СССР . . . . .	185
Заключение . . . . .	190
Литература . . . . .	193
Именной указатель . . . . .	202

### ОПЕЧАТКИ И ИСПРАВЛЕНИЯ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
23	24 св.	$\left(\frac{5+2}{2}\right)$	$\left(\frac{15+2}{2}\right)$
75	30 св.	по оным суда в какое время и с каким грузом ходить могут...»	не описано таким образом, ибо к тому требуется много знающих людей, иждивения и времени».
149	7 св.	Дж. Риччиола	Дж. Риччиоли

И. А. Федосеев