

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ

# ПРОБЛЕМЫ ПАЛЕОГИДРОЛОГИИ



---

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
МОСКВА  
1976

В книге рассматриваются вопросы происхождения гидросферы, истории формирования и развития подземных вод, Мирового океана, озер, рек, наземных и подземных льдов. Предпринята попытка комплексной реконструкции континентальной гидросферы Восточной Европы в позднем плейстоцене. Приводится методика палеогидрологических исследований. Часть статей посвящена палеоклиматическим вопросам формирования речного стока и палеотермической эволюции материковых ледников.

Ответственные редакторы:

член-корреспондент АН СССР

Г. П. КАЛИНИН,

Р. К. КЛИГЕ

Kalinin, G.P. and Klige, R.K., Eds. (1976)

Problems of Paleohydrology. Nauka, Moscow, 296 pp.

Problems of origin of the hydrosphere, history of formation and development of underground water, of the World Ocean, lakes, rivers, surface and subsurface ice are under consideration in the book. An attempt of the complete reconstruction of the continental hydrosphere in the Eastern Europe in Late Pleistocene is made. Methods of paleohydrologic studies are described. Some papers are devoted to paleoclimatic problems of river runoff formation and paleotermic evolution of continental glaciers.

Kalinin, G.P., Klige, R.K., Shleynikov, V.A. (1976) Main problems of paleohydrology. In: Problems of Paleohydrology, Kalinin, G.P. and Klige, R.K. (Eds.). Nauka, Moscow, 7-20.

The main problems of the global paleohydrology as a science about origin and evolution of the hydrosphere are under consideration. It is a complex of research spheres such as land paleohydrology, paleoceanology, paleocryology, paleolimnology, paleopotamology, paleoclimatology related with sciences studying evolution of the Earth: planetology, geophysics and geochemistry. Some methods of paleohydrologic research are considered.

**Г. П. Калинин**, Р. К. Клите, В. А. Шлейников

## ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПАЛЕОГИДРОЛОГИИ

Режим вод Земли определяется климатом, состоянием земной поверхности (рельефом, водопроницаемостью горных пород, растительностью и рядом других факторов), а в настоящее время — и деятельностью человека.

Многочисленные данные исторической геологии свидетельствуют о том, что климат и состояние земной поверхности в прошлом существенно отличались от современных и весьма значительно изменялись в течение геологической истории. Это отражалось в изменениях географической оболочки и водного режима Земли.

Одна из важнейших проблем гидрологии в настоящее время — выяснение процессов эволюции природных вод, приведших к их современному состоянию как на земле, так и в космосе, а в связи с этим необходимость развития новых методов изучения динамики поверхностных, почвенных и подземных вод в различном фазовом состоянии.

Актуальность этой проблемы очевидна из того особого положения, которое занимает, в отличие от других планет, водная оболочка на Земле, в конечном итоге — одно из главных условий развития жизни. Основным является установление причин, определяющих соотношение между приходом на поверхность планеты влаги из ее недр и расходом ее в космическое пространство. Сложность решения этой проблемы заключается не только в том, что существуют различия в массах планет и их расстояниях от Солнца, но, в первую очередь, в весьма трудно поддающемся даже приближенной оценке процесса прихода воды на поверхность планет и их водообмена с космосом.

Действительно, если даже взять общепринимаемую для Земли цифру прихода воды из ее недр порядка  $1 \text{ км}^3/\text{год}$ , то это составило бы всего на  $1 \text{ м}^2$  поверхности величину порядка  $1/1,51 \cdot 10^8 \text{ г/сек} \cdot \text{м}^2$ . Равновесие прихода и расхода воды наступит при определенном влагосодержании атмосферы, соответствующем условию, когда ее приход станет равным расходу. Если принять, что в настоящее время на Земле существуют такие условия, то вынос влаги в космос составит приведенную величину.

Весьма вероятно, что создавшаяся в какой-то период развития Земли возможность появления воды сначала на небольшой ее части способствовала возникновению биосферы, что в отличие

от других планет привело к трансформации газового состава ее атмосферы и образованию «экрана», замедлившего вынос воды в космос и создавшего условия для ее накопления на земной поверхности.

Возникшая в процессе эволюции Земли стратосферная «ловушка» (связанная с присутствием здесь озона) паров воды, препятствующая их диффузии вверх, представляет весьма тонкий механизм, который возникает в очень ограниченном диапазоне физических условий, так как из всех других планет солнечной системы в такой форме он, видимо, функционирует только на Земле. Актуальность изучения этого механизма усиливается тем, что при интенсивном вмешательстве человека в жизнь природы не исключена возможность возникновения условий, приводящих к его нарушению.

Получение новых данных о распределении воды и факторов ее образования в космическом пространстве и на планетах, изучение их водообмена будут способствовать решению этой проблемы.

Водный и тепловой режим Земли в прошлом сильно менялся под воздействием главным образом следующих космических и земных факторов:

а) изменения притока солнечной радиации вследствие изменения земной орбиты, положения земной оси и изменения интенсивности солнечной радиации;

б) изменения рельефа Земли, соотношения площадей, занятых водой и сушей, количества углекислоты, изменения помутнения атмосферы, размеров оледенения.

Факторы, которые определяли изменения теплового и водного режима Земли, с одной стороны, носили почти периодический характер (преимущественно астрономические), с другой стороны, — могли быть вызваны причинами, не носившими строго периодического характера (например, помутнением атмосферы, горообразованием, кратковременными изменениями теплового состояния, приводившими к последующему изменению процессов оледенения и т. д.).

Исследованием особенностей и свойств гидросферы в прошлые геологические эпохи, т. е. изучением истории развития гидросферы Земли занимается палеогидрология. Она рассматривает вопросы, связанные с распространением в прошлом природных вод по земной поверхности и в толще земной коры; закономерности, контролировавшие характер их распространения; реконструкции явлений и процессов, протекавших в гидросфере.

Исследование геологической истории водной оболочки тесно связано с изучением развития ряда компонентов, которые обуславливали особенности водного режима, такие, как астрономические и геологические условия, рельеф, отложения, растительный покров и ряд других.

Перед палеогидрологией стоит задача восстановления гидрологических условий для отдельных, последовательных отрезков

геологического времени, т. е. реконструкция гидрологических особенностей для той или иной геологической эпохи; выявление закономерностей развития водной оболочки и ее составных частей в ходе геологической истории.

Палеогидрология имеет большое научное и практическое значение. Она ставит перед собой задачу изучения процесса становления и развития гидросферы и выявления закономерностей присущих этому процессу и поэтому может быть положена в основу сверхдолгосрочного прогноза состояния водных ресурсов Земли. Такие прогнозы возможны только в том случае, когда мы достаточно четко представляем историю формирования гидросферы.

Следует отметить, что палеогидрология Земли по существу только начинает разрабатываться. Это обстоятельство в значительной степени связано с тем, что эта наука не имеет возможности непосредственно изучать свой объект. Прямому изучению объекта в палеогидрологии предшествует сложная работа, связанная с реконструкцией гидрологических условий прошлого.

**Палеогидрология** — это комплекс наук, изучающих историю всей деятельности воды на земной поверхности во взаимосвязи с процессами в литосфере и атмосфере.

Сложность задач, стоящих перед палеогидрологией, заключается еще и в том, что предмет исследования — гидросфера — одна из древнейших оболочек планеты. Развитие гидросферы предопределялось общепланетарными геофизическими процессами, результатом которых явилось образование трех, сопряженных с ней, оболочек Земли, а именно: мантии, литосферы и атмосферы.

Тесная взаимосвязь современных процессов, протекающих в оболочках земного шара несомненно существовала на протяжении всей его эволюции. Поэтому решение палеогидрологических проблем может осуществиться только при комплексном рассмотрении процессов формирования и развития Земли как планеты. В этом случае несомненную помощь в разработке палеогидрологической модели эволюции водной оболочки Земли может оказать та информация, которая накоплена в таких науках, как планетология, геофизика и геохимия, а также содержится в эволюционных схемах, разработанных исторической геологией, палеонтологией, палеогеоморфологией, палеоклиматологией и синтезированных палеогеографией.

Характерна глубокая внутренняя связь всех палеонаук, которые взаимно дополняют одна другую данными и выводами и составляют звенья общей науки об истории нашей планеты.

Общие запасы воды в современную эпоху на поверхности земного шара составляют около 1,4 млрд. км<sup>3</sup>. Из них около 1,3 млрд. км<sup>3</sup>, или 96,5%, составляют воды Мирового океана и его морей, которые покрывают более  $\frac{2}{3}$  поверхности нашей планеты. Поверхностные воды суши — в реках, озерах, болотах, в горных снегах и ледниках, в материковых льдах, включая льды Антарк-

тиды и Гренландии — составляют менее 2% общего количества воды (Мировой водный баланс, 1974).

Воды Мирового океана и воды суши в жидком и твердом состоянии образуют наземную гидросферу — прерывистую водную оболочку Земли, которая покрывает более 70% земной поверхности.

Вода на Земле находится в постоянном взаимодействии и непрерывном движении. Она все время расходуется и восстанавливается в процессе круговорота. Круговорот воды в природе — это непрерывный замкнутый процесс циркуляции воды на Земном шаре, происходящий под влиянием солнечной радиации и действия силы тяжести. Вода испаряется с поверхности океана и суши и поступает в атмосферу, откуда она в виде дождя и снега возвращается обратно на поверхность Земли. Атмосферные осадки питают реки и подземные воды, а через речной сток пополняются воды морей и океанов.

Ежегодно в круговороте участвует около 577 тыс. км<sup>3</sup> воды. Это сравнительно небольшая часть гидросферы, которая составляет приблизительно 0,04% от общих запасов воды на Земле. С поверхности морей и океанов испаряется 505 тыс. км<sup>3</sup>, а с поверхности суши — 72 тыс. км<sup>3</sup>. год. Обратно на поверхность океана выпадает ежегодно 458 тыс. км<sup>3</sup> осадков, а над поверхностью суши — 119 тыс. км<sup>3</sup>, 47 тыс. км<sup>3</sup> воды по рекам и подземным путем возвращаются обратно в океан (Мировой водный баланс, 1974).

Вода	Объем воды (тыс. км <sup>3</sup> )	Период возобновления запасов воды (число лет)
Мировой океан	1 338 500	3 000
Подземные воды земной коры (до глубины 5 км)	60 000	4 600
Ледники и снежники	29 000	16 000
Озера и болота	750	10
Почвенная влага	65	1
Пары в атмосфере	14	0,03
Речные воды	2	0,04

Анализ активности водообмена вскрывает очень важную особенность пресных вод — их относительно быстрое возобновление. Так, полный обмен влаги в атмосфере происходит в среднем каждые 8 дней. Обмен воды, содержащийся в руслах рек, происходит 10—20 суток. Несколько медленнее происходит водообмен озерных вод — около 10 лет. Продолжительность смены огромной массы воды, которая находится в океане, близка к 3000 лет. Большие массы воды законсервированы в виде льда. Из-за очень медленного движения ледников продолжительность водообмена в этом звене гидросферы составляет около 16 000 лет (Калинин, 1968).

Характер круговорота воды на Земле не постоянен и в отдельные эпохи может значительно видоизменяться.

Общие закономерности водообмена тесно связаны с развитием всей гидросферы, эволюция которой может быть вскрыта палео-гидрологическими исследованиями.

Образование водной оболочки Земли явилось результатом длительной (порядка нескольких миллиардов лет) дифференциации протопланетного вещества и было связано с процессом дегазации мантии, механизм которого действовал по схеме зонного плавления (Виноградов, 1959). Последнее приводило к циклическому освобождению жестко связанной с веществом мантии воды и возгонки ее к поверхности планеты, где она конденсировалась, формируя первичную гидросферу.

Гидросфера как одна из внешних оболочек планеты, служит важнейшим показателем термической эволюции Земли. Некоторое количество воды содержится в мантии ( $2,9 \cdot 10^{23}$  г %; Сорохтин, 1974). Поэтому направленный процесс формирования гидросферы свидетельствует о преобладании дегидратации вещества мантии во времени и следовательно о разогревании ее под действием химико-гравитационной дифференциации (Сорохтин, 1974). Если же учесть, что процесс формирования гидросферы взаимосвязан с циклическим процессом образования литосферы, то есть все основания предполагать чередование во времени режимов дегидратации и гидратации вещества мантии. Вероятно, в периоды активизации тектоно-магматической деятельности Земли преобладали первые, а в периоды относительного тектоно-магматического покоя — вторые.

Решением вопросов, связанных с поступлением вод из земных недр, распространением их в земной коре и изменением их режима в геологическом прошлом призвана заниматься палеогидрогеология.

Одним из важных моментов при палеогидрологических реконструкциях является знание факторов формирования гидросферы в процессе образования литосферы и развитие гидрогеологических условий в истории Земли.

Общий объем воды в земной коре мощностью 20—25 км (учитывая также воды, находящиеся в различных состояниях и связях с минералами), по данным В. И. Вернадского (1933), составляет около 1,3 млрд. км<sup>3</sup>, т. е. примерно равно объему Мирового океана, а длительность водообмена этого звена гидросферы может достигать миллионов лет. Поэтому общий баланс гидросферы и его эволюция в геологическом прошлом в значительной степени мог определяться характером изменения гидрогеологических условий.

В палеогидрогеологии характеристика подземных вод минувших эпох, их состава, динамики, генезиса получается в результате анализа и обобщения главным образом различных геологических материалов, характеризующих как геологические условия про-

теkania древних гидрогеологических процессов, так и результаты геологической деятельности древних подземных вод.

В свое время А. Н. Семихатов (1947) показал, что для формирования подземных вод прошлого характерны определенные циклы, которые заключаются в накоплении морских вод в образующихся осадках в период морских трансгрессий и затем смене их пресными водами при регрессии моря и дренаже водоносных горизонтов.

При помощи палеогидрогеологических методов, как отмечают А. А. Карцев, С. Б. Вагин, Е. А. Басков (1969), возможно определение абсолютного возраста подземных вод, установление направления движения, областей питания и разгрузки, мощности зоны циркуляции, определение границ бассейнов и других показателей в определенные моменты геологической истории. Палеогидрогеологические исследования позволяют подойти к определению общих запасов подземных вод и их изменению в геологическом прошлом как для отдельных территорий так и для континентов в целом.

Подземные воды находятся в постоянном взаимодействии и водообмене с поверхностными водами.

Значительная часть гидросферы на поверхности нашей планеты сосредоточена в Мировом океане (около 96%). Поэтому построение эволюционной схемы палеогидрологической истории нашей планеты должно в значительной степени базироваться на реконструкции изменения объема и, следовательно, морфометрии чаши Мирового океана. Вопросы его эволюции должны рассматриваться палеоокеанологией, анализирующей процессы возникновения и развития Мирового океана как части гидросферы. Несомненный интерес может представлять разработка эволюционных схем физико-химической истории как Мирового океана в целом, так и отдельных его частей.

Можно предполагать, что по мере увеличения общего количества воды на Земле уровень возникшего Океана под влиянием различных воздействий мог испытывать сложные колебания с общей тенденцией к подъему. Как отмечает А. П. Виноградов (1967), формирование основной массы океанической воды на Земле происходило в результате процессов выплавления и дегазации вещества мантии Земли и было тесно связано с процессом становления и развития континентов, возраст которых оценивается около 3,5 млрд. лет. В этот период изменение уровня океана, вероятно, было сопряжено с эволюцией континентов. Предполагается, что определенная стабилизация уровня, несколько нарушаемая тектоническими процессами, наступает к началу палеозоя (около 600 млн. лет назад). Н. М. Страхов (1948) и Термье (Termier, Termier, 1952) построили ряд палеогеографических карт, начиная с этого периода, которые, в свою очередь, позволили Эгьеде (Egyed, 1957) показать графически изменение во времени суммарной площади покрытых морями территорий современных континен-



тов. Используя эти материалы, а также учитывая возможное изменение характера гипсографической кривой, можно приближенно рассчитать вероятные колебания уровня Мирового океана за последние 600 млн. лет. Эти колебания могли происходить в значительных пределах (общая амплитуда, вероятно, могла составлять почти 500 м).

В период самой крупной из известных нам ордовикской трансгрессии (около 470 млн. лет назад), когда почти 50% современной суши находилось под водой, высота уровня океана могла, вероятно, превышать на 400 м его современное положение. В течение всего рассматриваемого отрезка времени отмечается неуклонное увеличение площади суши и соответствующее снижение уровня океана, что обуславливалось преимущественно прогибанием океанического дна (Леонтьев, 1968).

Анализ геологической истории Земли с помощью изотопных методов позволяет в настоящее время с достаточной обоснованностью реконструировать характер изменения уровня Мирового океана за период в несколько десятков тысяч лет. Наибольшая информация получена за последние 20—50 тыс. лет, благодаря массовому использованию радиоуглеродного метода абсолютного датирования морских отложений, развитых как в пределах акватории Мирового океана, так и на его побережье. Последнее обстоятельство позволило многим исследователям (Fairbridge, 1961; Faure, Elonaud, 1967; Emery, 1967; Эмери, 1971; Shepard, Curray, 1967) произвести построения возможного изменения уровня Мирового океана за последние почти 50 тыс. лет. Результаты этих исследований показали, что в сравнительно недавнем геологическом прошлом происходили весьма значительные, превышающие сотню метров изменения уровня Мирового океана. Это свидетельствует о том, что в этот период происходили планетарные изменения глобального водообмена, повлекшие за собой уменьшение объема вод Мирового океана с одновременным увеличением запасов воды на суше. Такие грандиозные изменения приводили к изменению всего облика планеты.

25—30 тыс. лет назад, как показывают исследования, положение уровня Мирового океана, вероятно, было близко к современному или, по крайней мере, ниже на 10—20 м. Затем наблюдалось падение его уровня более чем на 100 м, что было связано с развитием крупных континентальных оледенений. Около 16 000 лет назад началось быстрое таяние континентальных ледниковых покровов с одновременным резким повышением океанского уровня, скорость которого составляла около 10 мм/год. Как отмечает Р. Фейрбридж (Fairbridge, 1962), повышение уровня океана в этот период не было равномерным и в отдельные периоды превышало 50 мм/год.

6—7 тыс. лет назад уровень Мирового океана достиг современного положения; начиная с этого момента он стал сравнительно устойчивым, его изменения составляли  $\pm 3-4$  м относительно

современного положения. Последнее обстоятельство позволяет судить о сравнительной устойчивости глобального водообмена в настоящее время.

Мировой океан активно взаимодействует с поверхностными водами континентов, находящимися как в твердой, так и в жидкой фазе.

Следующим и одним из основных звеньев современной гидросферы являются ледники и подземные льды, объем которых составляет около 29 млн. км<sup>3</sup>. Изучением в геологическом прошлом объемов вод, сконцентрированных в виде льда на земной поверхности и в толще литосферы, занимается палеокриология.

Концентрация значительных объемов воды в твердой фазе на континентах в современную эпоху — результат длительного (порядка нескольких миллионов лет) процесса изменения соотношения объемов вод Мирового океана и континентов. Предполагается, что этот процесс имел направленный характер (Марков и др., 1968). Очень важна достаточно достоверная реконструкция динамики оледенения земли как временного и объемного индикатора процессов водообмена на поверхности нашей планеты в прошлом.

Существование ледниковых покровов предполагается уже в нижнем протерозое Северной Америки (около 1,5 млрд. лет назад; л. н.), в верхнем рифее Африки и Австралии (1 млрд. л. н.), в венде Европы, Азии и Северной Америки (0,6 млрд. л. н.), в ордовике Африки (0,5 млрд. л. н.), в конце карбона (0,34 млрд. л. н.), и начале перми (0,29 млрд. л. н.) на материке Гондвана (Б. С. Э., 1973). Наиболее изучен четвертичный период (1,5—2 млн. л. н.), в эпоху максимального оледенения которого ледниковые покровы занимали около 45 млн. км<sup>2</sup> суши и 25 млн. км<sup>2</sup> площади океана, т. е. около 14% поверхности Земли было покрыто льдом (Марков и др., 1968). Общий объем оледенения в этот период мог составлять 62,4 млн. км<sup>3</sup> (Суетова, 1968).

Значительные количества воды, изъятые из влагооборота и законсервированные в ледниковых покровах, вызывали крупные регрессии Мирового океана, когда его уровень мог понижаться более чем на 100 м. Сопоставление изменения площади Валдайского оледенения в Европе, Висконсинского в Северной Америке и уровня океана 10—20 тыс. лет назад показывает, что между ними существует вполне определенная взаимосвязь. Уровень очень четко реагировал на изменения границ распространения ледниковых покровов (Калинин, Клиге 1972).

Большую роль в изменении водного баланса Земли играет общая увлажненность континентов, которая отражена в изменении режима озер. Озера — это важное звено континентальной части гидросферы. В них в настоящее время содержится около 750 тыс. км<sup>3</sup> воды, а скорость водообмена составляет около 10 лет и в значительной степени определяется проточностью водоема.

Исследованием истории формирования и эволюции озер призвана заниматься палеолимнология, одна из главных задач которой

состоит в реконструкции морфометрии древних озерных водоемов и восстановлении динамической картины их развития.

Бессточные озера расположены преимущественно в зоне недостаточного увлажнения, и их уровни могут служить чуткими индикаторами изменения увлажненности обширных континентальных регионов. Сточные озера обычно располагаются в зоне избыточного увлажнения, и их размеры дополнительно регулируются также и стоком воды из них. Поэтому амплитуда колебаний их уровня и размеров площади при эквивалентных изменениях климата значительно меньше, чем бессточных озер. Наличие стока, регулирующего изменения водного режима, затрудняет их использование в качестве индикаторов прошлого климата.

Особый интерес в реконструкции водного и теплового режима Земли представляет уровень и площадь бессточных озер.

Уровень бессточных озер является естественным интегратором климатических условий и показывает соотношение притока воды в озеро и расхода воды из него:

$$H_t = H_0 + \int_0^t (R - Z) dt,$$

где  $H_t$  — уровень в момент времени,  $t$ ,  $H_0$  — начальный уровень,  $R$  — поступление воды на единицу площади озера в единицу времени за счет стока и осадков,  $Z$  — испарение с единицы площади озера в единицу времени.

Очевидно, любые отклонения уровня от сложившегося в предыдущее время равновесного состояния при изменении климатических условий будут суммироваться и это суммирование будет происходить до тех пор, пока баланс воды озера не приблизится к нулю за счет изменений площади озера. При этом новая площадь озера будет в функциональной связи с климатическими факторами:

$$F_{оз} = \frac{Q}{Z - X},$$

где  $F_{оз}$  — площадь озера;  $Z$  — испарение с единицы площади озера;  $X$  — осадки на единицу площади озер;  $Q$  — приток поверхностных и подземных вод в озеро.

Следовательно, данные об изменениях уровня или площади озера могут служить одним из объективных критериев изменения водного и теплового режимов территории.

Анализ древних береговых террас, озерных отложений и некоторых других показателей свидетельствует о том, что в различные геологические периоды могло наблюдаться значительное увеличение существующих в настоящее время озер. Так, например, как отмечает В. М. Сеницын (1967), плейстоценовые озера в районе Гоби превосходили современные в 6—10 раз. Так, площадь Большого Лобнора достигала 28000 км<sup>2</sup>, в то время как сейчас она сос-

тавляет всего 2500 км<sup>2</sup>. Значительно менялись глубины озер, особенно горных. Например, у долинных озер Тибета уровень вод был на 120—200 м выше современного. Озера Ван и Урмия (Армянское плато) и озеро Туз (Анатолия) имели в плейстоцене уровень на 60—75 м выше современного. Мертвое море, расположенное в узком тектоническом грабене, имело в плейстоцене уровень на 433 м выше современного, а площадь в четыре раза больше. Значительные изменения происходили и с таким крупным водоемом как Каспийское море, для которого в плейстоцене отмечен ряд крупных трансгрессий и регрессий с общей амплитудой колебания уровня почти в 100 м.

Реки — это одно из наиболее мобильных звеньев гидросферы, а их сток, являясь функцией осадков и испарения, отражает соотношение тепла и влаги на территории речного бассейна. И если объем воды в них составляет всего около 2 тыс. км<sup>3</sup>, то скорость водообмена сокращается до 10—20 дней.

Реконструкция изменений речного стока в прошлом — одна из основных задач континентальной палеогидрологии, решением которой должна заниматься палеопотамология или учение о реках прошлого.

По речным отложениям и морфометрии долин можно восстановить, вероятно, водность рек прошлого, и, следовательно, общую обводненность территории.

Многие исследователи (Флинт, 1963; Калинин, Марков, Суетова, 1966; Сеницын, 1967 и др.) отмечают, что в период значительных похолоданий, когда в северных широтах развивались крупные оледенения, в средних и низких широтах наблюдались очень влажные периоды с большим количеством осадков. Так, например, в ряде районов Азии и Африки, которые сейчас очень засушливые, существует хорошо разработанная и в настоящее время безводная речная сеть, группирующаяся в обширные системы с площадью водосбора до 5—10 тыс. км<sup>2</sup> и сформировавшаяся в плювиальный период. Подобная картина характерна для поверхности Гобийских, Туранских, Иранских и Анатолийских равнин. Формирование палеогидросети могло произойти только в эпоху более значительного увлажнения этих районов, вероятно в плейстоцене.

Степень развития сохранившейся гидрографической сети от прошлых эпох и фациальный характер ее выносов помогает судить об особенностях увлажненности территорий. Если речная сеть достаточно густа, сложно разветвлена, глубоко врезана и сформировала большие массы аллювиальных отложений, то это свидетельствует о значительном увлажнении района в период ее формирования. И наоборот характеристикой слабой увлажненности служит слабо разветвленная речная сеть, неглубоко врезанная, со сравнительно небольшими аккумулятивными отложениями.

Некоторые исследователи считают, что возможно определение древнего стока рек по характеру их меандр. Так, Дюри (Dury,

1958) пришел к выводу, что паводковый сток ряда рек Англии и США в прошлом мог быть раз в 10—20 больше современного, поскольку длина волны меандр древних рек была почти в девять раз больше, чем современных.

Данные о глубоководных отложениях Атлантического океана, показывают, что скорость осадконакопления в эпоху висконсинского оледенения была в 2,4 раза больше, чем в конце оледенения. С. Шумм (1968) приходит к выводу о том, что высокие скорости седиментации в океане в эпоху оледенения могут быть объяснены высокой насыщенностью твердыми осадками рек, которые текли с ледниковых щитов в океан, и повышенным твердым стоком, вызванным врезанием рек вблизи берега океана, вследствие понижения его уровня в ледниковую эпоху. Деятельность реки в закрытом внутреннем бассейне должна была быть несколько противоположной, поскольку в конце межледниковья и начале ледникового периода образование озер в пределах бассейна, происшедшее в результате увеличения стока, должно было поднять базис эрозии рек, впадающих в озеро, и вызвать аккумуляцию осадков в их нижнем течении.

В настоящее время данные по суммарному речному стоку с континентов в Мировой океан показывают, что он в период с 1918 по 1967 гг. испытывал значительные колебания от года к году, с амплитудой от  $43730 \text{ км}^3$  до  $49650 \text{ км}^3$ , составляя в среднем  $46770 \text{ км}^3$  (Мировой водный баланс..., 1974). На фоне этих изменений выделяются две крупные волны относительного повышения стока, которые разделены резким его снижением в сороковые годы. Приблизительно в эти годы (35—40 гг.) наблюдался максимум потепления в Северном полушарии (Будыко, Винников, 1973). Изменение термических условий на поверхности Земли в текущем столетии, вызвавшее изменение глобального водообмена, привело к уменьшению внутреннего стока бессточных территорий Европы и Азии в последнее столетие приблизительно на  $200 \text{ км}^3$ .

Существенное значение имеет выяснение роли речного стока в глобальном водообмене. Изменение речного стока не должно оказывать большого влияния на объем Мирового океана, так как в балансовом отношении для океана безразлично как поступает в него влага: речным стоком или атмосферным. Однако во влагообороте атмосферы речной сток играет весьма существенную роль. Это видно из соотношения

$$\bar{Q} = S \cdot \bar{v} \cdot \bar{\Delta p},$$

где  $\bar{Q}$  — средний сток;  $S$  — длина береговой линии;  $\bar{v}$  — средняя скорость воздушного потока через береговую линию;  $\bar{\Delta p}$  — разность между влагосодержанием воздуха над океаном и сушей.

Отсюда видно, что изменение стока вызывает пропорциональное ему изменение разности между влагосодержанием морского и континентального воздуха.

Существенное значение для восстановления водного режима континентов в геологическом прошлом должно приобрести выявление зон синхронности и асинхронности колебания речного стока. Большой интерес представляет характер изменения количества влаги в атмосфере, объем которой составляет в среднем около 13 тыс. км<sup>3</sup>, а скорость влагооборота около 8 дней.

Размеры конденсации и особенно образование осадков зависят как от абсолютного количества содержащегося в воздухе водяного пара и достижения им состояния насыщения, так и от ограничивающей его содержание температуры. Исследования геологической истории Земли показывают, что в прошлом происходило значительное колебание водно-теплового режима на ее поверхности, очевидно тесно связанное с изменением выпадавших атмосферных осадков. Разработка методических приемов определения атмосферных осадков в прошлом — задача как палеогидрологии, так и палеоклиматологии.

Итак, палеогидрология — наука о происхождении и эволюции гидросферы, представляющая комплекс отраслей исследования, органически связана с науками, изучающими эволюцию вещества Земли: планетологией, геофизикой и геохимией. Как и в других науках о Земле, в палеогидрологии широко используется метод сравнительно-исторического анализа. Поэтому все многообразие методических приемов, разработанных в таких науках как гидрология, океанология, криология, лимнология, речная гидрология и климатология, в значительной степени может быть использовано при соответствующих палеогидрологических исследованиях.

Среди основных методов, относящихся непосредственно к палеогидрологии, можно выделить такие как гидролого-морфометрический, метод пространственно-временных взаимосвязей и гидрометеорологический.

В основу гидролого-морфометрического метода положено изучение современной морфометрии различных объектов гидросферы, что позволяет определить аналитические зависимости между отдельными морфометрическими элементами: объемом, площадью, глубиной (мощностью), высотой, длиной и шириной, а также их корреляционные связи с такими динамическими характеристиками, как объемы водной массы, расходы воды и др.

Установление характера изменения морфометрии водного объекта в прошлом и экстраполяция современных аналитических зависимостей во времени позволяет более строго подойти к реставрации основных гидрологических параметров гидросферы Земли.

Экстраполяция связей таких гидролого-морфометрических характеристик рек, как максимальных глубин в паводок, являющихся динамической характеристикой мощности современного аллювия и максимальных расходов, со среднегодовым стоком может позволить получить количественные характеристики стока с континентов в отдельные эпохи прошлого на основе анализа мощности аллювия речных террас.

Один из важных методов палеогидрологии — метод пространственно-временного анализа гидрологических элементов, который основывается на взаимосвязи природных процессов во времени и пространстве. Здесь большое значение имеет гипотеза эргатичности, которая впервые использована в гидрологии Г. П. Калининым (1966). Эта гипотеза предполагает, что можно получить статистические характеристики определенных физических элементов во времени путем изучения одновременных характеристик вариации признака по пространству и наоборот.

Применение метода пространственно-временных взаимосвязей в палеогидрологии может быть продемонстрировано на следующем примере. Репером, маркирующим положение уровня Мирового океана в прошлом, служит абсолютная высота океанической террасы. Если предположить, что в репрезентативном районе побережья Мирового океана («точке») мы располагаем рядами террас, время формирования каждого элемента которых определено, то этот ряд можно считать аналогом временного.

Далее, если предположить, что мы располагаем массовой информацией о высотном положении террас на всем побережье Мирового океана, то она может рассматриваться как пространственный ряд абсолютных высот океанических террас. Тогда, после приведения временного и пространственного рядов к одним и тем же статистическим параметрам, их кривые распределения должны быть идентичны. Это позволит, основываясь на морфометрических расчетах и проведении детальных геохронологических исследований в опорных районах побережья Мирового океана, построить детальную схему изменения его уровня во времени.

В основу гидрометеорологического метода положены фундаментальные соотношения между компонентами водообмена Земли

$$x = z, \quad z = f(T), \quad T = \varphi(R),$$

где  $x$  — осадки;  $z$  — испарение;  $T$  — температура;  $R$  — радиация. Для Мирового океана  $z = x + y$ , для суши  $x = z + y$ , где  $y$  — сток.

Например, основываясь на астрономической теории колебания климата (Миланкович, 1939) и расчетах среднегодовых зональных температур воздуха у поверхности Земли как функции годичной инсоляции, возможно реконструировать характер изменения основных составляющих (осадки и испарение) уравнения водного баланса Земли и Мирового океана, а также определить величину испарения для суши.

В заключение хотелось бы еще раз подчеркнуть, что палеогидрологические исследования помогают вскрыть основные закономерности эволюции гидросферы и глобального водообмена Земли и служат основой для построения сверхдолгосрочных гидрологических прогнозов.

## ЛИТЕРАТУРА

- Большая советская энциклопедия. Изд. 3, 14. М., Изд-во «Советская энциклопедия».
- Будыко М. И., Винников К. Я.* Современные изменения климата.— Метеорология и гидрология, 1973, № 9.
- Вернадский В. И.* Об областях охлаждения земной коры — Зак. ГГИ, 1933, 10.
- Виноградов А. П.* Химическая эволюция Земли. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Виноградов А. П.* Введение в геохимию океана. М., «Наука», 1967.
- Емери К. О.* Континентальные шельфы. Океан. М., «Мир», 1971.
- Калинин Г. П.* Пространственно-временной анализ и эргодичность гидрологических элементов.— Вестник МГУ, серия V, 1966, № 5.
- Калинин Г. П.* Проблемы глобальной гидрологии. Л., Гидрометеиздат, 1968.
- Калинин Г. П., Клизе Р. К.* К вопросу о вековых колебаниях уровня Мирового океана.— В сб.: Формирование ресурсов вод суши. М., «Наука», 1972.
- Калинин Г. П., Марков К. К., Суетова И. А.* Колебания уровня водоемов Земли в недавнем геологическом прошлом.— Океанология, 1966, VI, вып. 5—6.
- Карцев А. А., Вагин С. Б., Басков Е. А.* Палеогидрогеология. М., «Недра», 1969.
- Леонтьев О. К.* Дно океана. М., «Мысль», 1968.
- Марков К. К., Величко А. А., Лазурков Г. И., Николаев В. А.* Плейстоцен. М., Изд-во МГУ, 1968.
- Миланкович М.* Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. Л.— М., ГОНТИ, 1939.
- Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л., Гидрометеиздат, 1974.
- Семизатов А. Н.* О гидрогеологических циклах.— Докл. АН СССР, 1947, 57, № 6.
- Синицын В. М.* Введение в палеоклиматологию. Л., «Недра», 1967.
- Сорохтин О. Г.* Глобальная эволюция Земли. М., «Наука», 1974.
- Страхов Н. М.* Основы исторической геологии. Ч. I, II. М., Гостгеоиздат, 1948.
- Суетова И. А.* Основные морфометрические характеристики Антарктиды. М., «Наука», 1968.
- Флинт Р.* Ледники и палеогеография плейстоцена. М., ИЛ, 1963.
- Шумм С.* Палеогидрология четвертичного периода.— В кн.: Четвертичный период в США, т. I. М., «Мир», 1968.
- Dury G. H.* Tests of a general theory of misfit streams. Inst. Brit. Geogr. Trans. Publ. 25, 1958.
- Egyed L.* Geol. Rundsch., 1957, v. 46.
- Emery K. O.* Geological aspects of sea-floor sovereignty. «The low of the Sea2, Ohio, USA; 1967.
- Fairbrieger R. W.* Eustatic changes in sea level Physics and Chemistry of the Earth, 1961, v. 4.
- Fairbridge R. W.* World sea level and climatic changes. Quarternaria, v. VI. Roma, 1962.
- Faure H., Elonard P.* Schema des variations du niveau de l'ocean Atlantique sur la côte de l'Afrique depuis 40000 ans. «C. R. Acad. Sci.», D 265, N 11, 1967.
- Shepard F. P., Curray I. R.* Carbon-14 determination of sea level changes in stable areas. Progress in oceanography, v. 4. Oxford, Pergamon Press, 1967, XI.
- Termier H., Termier G.* Histoire geologique de la biosphere. Masson. Paris, 1952.