

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

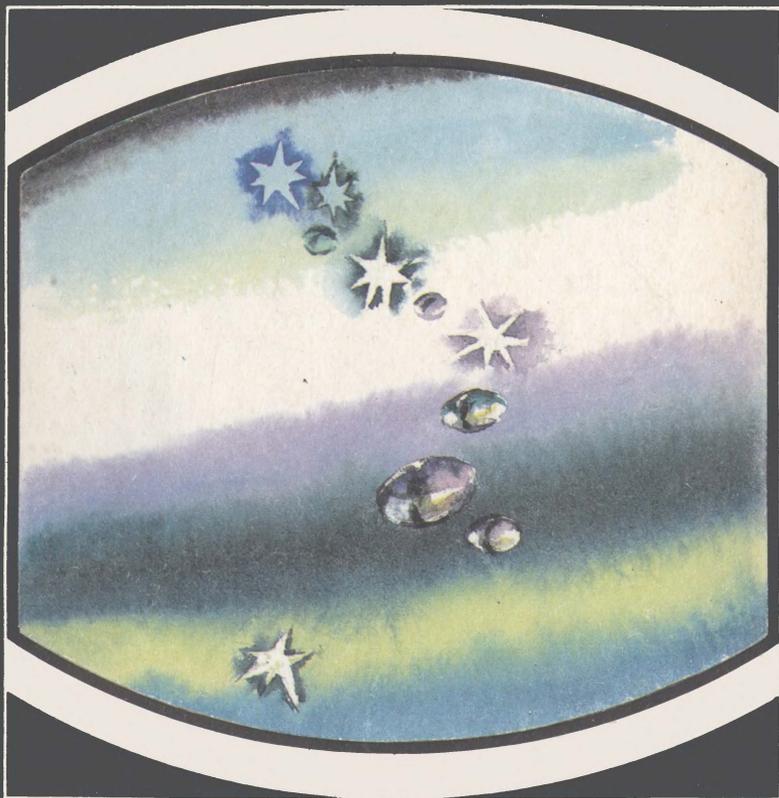
ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



1990/1

В. В. Орленок

ВОДА В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ И ПЛАНЕТ



ЗНАНИЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

Подписная научно-популярная серия

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

1/1990

Издается ежемесячно с 1966 г.

В. В. Орленок,

доктор геолого-минералогических наук

ВОДА В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ И ПЛАНЕТ

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| НАСТУПЛЕНИЕ ОКЕАНА НА СУШУ | 3 |
| НОВОЕ В СХЕМАХ КРУГОВОРОТА ЗЕМНОЙ ВОДЫ | 4 |
| СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРОИСХОЖДЕНИИ ВОДЫ | 5 |
| СВИДЕТЕЛЬСТВА ОПУСКАНИИ ОКЕАНСКОГО ДНА | 7 |
| ПЛАНЕТА, ИЗВЕРГАЮЩАЯ ВОДУ | 10 |
| ВОДА НА ЗЕМЛЕ В ДАЛЕКОМ ПРОШЛОМ | 15 |
| РЕАЛЬНАЯ ФАНТАСТИКА ГОЛУБОЙ ПЛАНЕТЫ | 17 |
| ГЕОГРАФИЯ МОРЕЙ ДООКЕАНИЧЕСКОЙ ЭПОХИ | 19 |
| МОРЯ ЭПОХИ ОКЕАНИЗАЦИИ ЗЕМЛИ | 22 |
| ПРИЧИНЫ МАТЕРИКОВЫХ ОЛЕДЕНЕНИЙ | 25 |
| ВОДА НА ДРУГИХ ПЛАНЕТАХ | 38 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 41 |
| ЧЕЛОВЕК И КАМЕНЬ | 43 |

Издательство «Знание»
Москва 1990

ББК 26.22
0-66

ОРЛЕНОК Вячеслав Владимирович — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры географии океана Калининградского университета. Автор ряда работ в области эволюции гидросферы Земли.

Редактор ИВАНЕНКО Л. В.

Орленок В. В.

0-66 Вода в истории Земли и планет. — М.: Знание, 1990. — 48 с. — (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Науки о Земле»; № 1).

ISBN 5-07-001172-3

20 к.

В брошюре показано, что современный баланс суши и моря, а с ним особенности климата и жизни — это всего лишь краткий миг в истории Земли. Мы живем в эпоху океанизации планеты, начавшейся примерно 60 миллионов лет назад. Вскрываются причины и масштабы этого явления на Земле, анализируется обстановка на других планетах.

Брошюра рассчитана на лекторов, слушателей и преподавателей народных университетов, учителей, а также на читателей, интересующихся вопросами происхождения Мирового океана.

1805040700

ББК 26.22

ISBN 5-07-001172-3

© В. В. Орленок, 1990 г.

Наступление океана на сушу

История хранит немало драматических свидетельств, когда люди были вынуждены покидать цветущие города, поглощаемые морем. Лишь в последние десятилетия стали ясны масштабы этого явления — они оказались грандиозны. Затонувшие города обнаружены близ побережья Черного, Азовского, Каспийского, Северного, Средиземного морей. Древние поселения известны на ныне затопленном шельфе почти всех океанов. Большая часть их затапливалась постепенно. Однако сохранились исторические записи о катастрофических явлениях, сопровождавшихся быстрыми опусканиями побережья вместе с городами.

Каковы же закономерности океанской экспансии? На Земле ежегодно происходит более 100 тысяч землетрясений и действует 817 активных вулканов. Подавляющая часть землетрясений, как и вулканизма, приходится на прибрежные районы Тихого океана и цепи островных дуг, таких, как Зондская в Индийском океане, Анtilьская и Южно-Сандвичева в Атлантике и др. Меньше всего землетрясений и вулканизма регистрируется по берегам Атлантического, Индийского и Северного Ледовитого океанов. Сейсмическая активность приурочена главным образом к срединным областям этих океанов, где возвышаются гигантские подводные хребты. Каждое извержение или землетрясение чаще всего сопровождается опусканием окраины континента и дна. Это области быстро текущих катастрофических процессов.

Но есть на Земле и такие области, где колебания земной коры происходят относительно медленно, без землетрясений, но тем не менее также приводят к опусканию прибрежных земель и затоплению их океаном. Скорость опусканий составляет 2—4 миллиметра в год. Наиболее интенсивно погружаются приустьевые побережья крупных рек — Миссисипи, Амазонки, Инда, Ганга и др. В устье реки По на юге Франции побережье опускается со скоростью 100 миллиметров в год. В Нидерландах вековое опускание прибрежной суши идет со скоростью около 2,5 миллиметра в год. Катастрофически опускается земля под Токио — до 180 миллиметров в год. Сегодня уже 20 процентов территории города находится ниже уровня моря и отгорожено от воды дамбами. Восточный берег Англии погружается со скоростью 9 миллиметров в год, устье Рейна — 2,7 миллиметра в год. Однако самые интенсивные скорости погружений зафиксированы на побережье Мексиканского залива в штате Техас — 500 миллиметров в год. В результате площадь затапливаемых здесь земель высокими приливами и штормовыми нагонами год от года увеличивается. Лишь небольшая часть — всего 9 процентов всех побережий — относительно стабильна, а побережья Канады, Скандинавии, Мадагаскара, Бразилии, запада Индостана и Индонезии испытывают небольшое воздымание со скоростью 2—4 миллиметра в год.

Итак, устойчивых материковых окраин почти нет. Большая их часть испытывает опускание.

Новое в схемах круговорота земной воды

В схемах общего круговорота воды, приводимых в учебниках, объем испарившейся над океаном воды считается равным объему воды, поступившей с континентов в форме речного стока, дождевых осадков, таяния ледников, подземного стока. Однако эта схема верна лишь в первом приближении и реализуется при условии постоянства общей массы воды на поверхности Земли и неизменной емкости океанических и морских впадин.

На самом деле картина баланса воды на планете оказывается более сложной. Дело в том, что наша планета — не закрытая изолированная система. Тысячами глубинных разломов, хорошо видимых на космических снимках, и сотнями корней действующих вулканов каменная оболочка планеты связана с глубокими недрами. По ним выносятся тепло, газообразные продукты, магма и вода. Сто тысяч ежегодных землетрясений и десятки вулканических извержений свидетельствуют, что Земля — геологически активная, живая планета. Поверхность ее и газообразная атмосфера открыты космосу и солнечному излучению. Здесь в высоких слоях атмосферы под действием солнечных частиц высоких энергий происходит разложение молекулы воды на составляющие — молекулы водорода и кислорода. Этот процесс называется фотолизом. При фотолизе тяжелая молекула кислорода под действием поля тяготения Земли будет пополнять атмосферу, а более легкая молекула водо-

рода, получив вторую космическую скорость, будет улетучиваться в космос — диссипировать.

Таким образом, рассматривая нашу планету как открытую термодинамическую систему, мы должны учитывать глубинные внутрипланетарные поступления воды и ее потери при фотолизе. При этом вода теряется также на увлажнение морских осадков, биосферы. Но вода поступает и из космоса вместе с метеоритами и текститами, другими космическими пришельцами при их сгорании в атмосфере. Возможно также, что вода образуется в высоких слоях атмосферы при присоединении солнечных протонов с электронами атмосферы с последующим превращением их в атомы водорода и кислорода и далее в молекулу воды. Однако эта реакция идет значительно выше озонового экрана. Поэтому из-за ультрафиолетового излучения время жизни этой молекулы будет ничтожно — она неизбежно подвергается фотолизу.

Таким образом, в балансе глобального круговорота воды на Земле должны присутствовать, кроме традиционных (испарение, осадки и сток), по меньшей мере еще две статьи.

| Приход: | Расход: |
|---|-------------------------------|
| поступление внутрипланетарной воды. | потери воды на фотолиз. |

Неучет этих факторов, особенно при переходе на геологический масштаб времени (тысячи и миллионы лет), приводит, как мы увидим, к неверным представлениям о всей направленности эволюции лика Земли. Достаточно сказать, что при традиционно «безводном» подходе к проблеме эволюции Земли естествознание «просмот-

рело» важнейший этап ее геологической истории — эпоху океанизации. Не был замечен и рубеж, отделяющий доокеаническую стадию развития Земли от эпохи океанизации. Правда, предпосылки для установления этой неизвестной ранее особенности развития нашей планеты появились лишь в последние 8—10 лет. Они связаны с программой глубоководного бурения, начатого в 1969 году с американского судна «Гломар Челленджер».

Классическое уравнение водного баланса М. И. Львовича:

$$E=R+P, \quad (1)$$

верное для Мирового океана как закрытой термодинамической системы, с учетом полученных нами новых внешних статей отныне приобретает более полное выражение:

$$P+R+T-E-F>0, \quad (2)$$

где E — испарение, P — атмосферные осадки, R — речной, подземный и другие виды стока, контролируемые атмосферными осадками, T — эндогенные (внутрипланетарные) поступления воды, F — потери на фотоллиз. Уравнение (2) показывает, что в реальном мире равновесия (1) не существует, так как происходят безвозвратные потери воды при фотоллизе и последующей диссипации в космос водорода, а также за счет непрерывного поступления внутрипланетарной воды на поверхность Земли. Малые в годовом исчислении, эти статьи баланса, как мы увидим, играют решающую роль в эволюции лика планеты в геологическом масштабе времени.

Современные представления о происхождении воды

Длительное время в естествознании существуют представления о древности современного объема земной гидросферы и чрезвычайно медленные ее изменения в настоящем, прошлом и будущем. Наиболее популярны две точки зрения. Согласно первой вода на Земле образовалась конденсационным путем из атмосферы сразу после образования планеты, т. е. около 4,5 миллиарда лет тому назад. По другой — вода равномерно накапливалась на поверхности в процессе дегазации и вулканизма мантии Земли. Отсюда следует заключение о древности Мирового океана современных размеров и глубины, которые он якобы приобрел еще 600—1000 миллионов лет назад. Так, выдающийся советский ученый академик В. И. Вернадский в 30-х годах писал: «По-видимому, количество соленой морской воды остается более или менее неизменным в течение сотен миллионов лет». Далее он уточняет свою мысль — «распределение суши и океана, в основном, не менялось в течение не менее миллиарда лет, по крайней мере, с начала палеозоя, и это распределение не есть поверхностное географическое явление...». Отсюда следует вывод о древнем и очень устойчивом распределении континентов и океанов, суши и моря, т. е. наблюдаемая асимметрия лика Земли представляется как одна из ее планетарных особенностей. Заметим, что к этому выводу В. И. Вернадский пришел, опираясь на знаменитый синтез австрийского геоло-

га Э. Зюсса «Лик Земли», законченный им в начале нашего века. Еще более радикальное мнение, основанное на данных изучения изотопного состава воды, высказывает профессор Ферронский: «Гидросфера, будучи конденсационного происхождения, образовалась в период остывания верхней оболочки Земли за сравнительно короткий срок в объеме, близком к современному». Во многих работах современных исследователей — Г. Ч. Менарда, О. К. Леонтьева, В. Е. Хаина считается чуть ли не само собой разумеющимся, что Мировой океан с объемом воды, близким к современному, существовал уже в палеозое. Еще более категоричен О. С. Сорохтин: «Если же под океаном понимать воду, заполняющую океанские впадины, то Мировой океан является древним образованием и по своему возрасту он лишь ненамного моложе самой Земли».

Представление чуть ли не об изначальном образовании земной гидросферы, по существу, не оставляет места для эволюции. Лик Земли оказывается сформированным со всей своей асимметрией уже изначально. Уязвимы также представления о консервативности и слабой изменчивости природных условий Земли, медленном и равномерном накоплении гидросферы. Это не согласуется с данными исторической геологии о ярко выраженном эволюционном, поступательном ходе развития природной среды и органического мира Земли, противоречит современным темпам изменения уровня океана, климата, скорости разрушения горных пород.

У исследователей до последнего времени не было еще надежного

метода решения проблемы эволюции свободной воды. Для этого прежде всего нужно было определить эндогенные и фотолитические статьи баланса земной гидросферы. Впервые эти статьи баланса найдены автором в 1980 году, для чего были использованы данные о находках мелководных отложений различного возраста на дне Атлантического, Индийского и Тихого океанов, полученные в ходе выполнения программы глубоководного бурения «Гломар Челленджер». В результате противоречивая, во многом интуитивная и гипотетическая картина эволюции земной гидросферы получила надежное количественное обоснование и оказалась непохожей на ту, что рисовалась исследователями.

Прежде всего уточним для себя вопрос: сколько свободной воды на Земле? Формы состояния воды различны. Это обыкновенная жидкая вода океанов, морей, рек и озер; вода в твердой фазе — льды Гренландии, Антарктиды и высокогорные ледники; вода в газообразном состоянии — вода атмосферы и, наконец, связанная вода, увлажняющая горные породы и живое вещество.

Вся вода, которая отделилась от твердого вещества земных пород, представляет собой так называемую «свободную» или гравитационную воду. Эта свободная вода участвует в круговороте живого и неживого вещества на поверхности Земли. Испаряясь над океанами и другими водными бассейнами, она с осадками, речным, подземным и ледниковым стоком возвращается в Мировой океан. Его площадь составляет 361 миллион квадратных километров, средняя глубина 3700 метров, и

здесь сосредоточена основная масса свободной воды — $1,42 \cdot 10^{24}$ граммов, т. е. 94 процента всей гидросферы. В реках и озерах суши имеется всего $0,0005 \cdot 10^{24}$ граммов воды, в ледниках значительно больше — $0,035 \cdot 10^{24}$ граммов и в атмосфере — $0,000013 \cdot 10^{24}$ граммов. Кроме того, в свободном круговороте участвует и почвенная вода. Масса ее сравнима с ледниковой и равна $0,0085 \cdot 10^{24}$ граммам. Следует также учитывать воду, увлажняющую верхние 200—300 метров морских осадков, которая в процессе их уплотнения и диагенеза (преобразования в породе) поднимается к поверхности дна в виде минерализованных растворов. При средней влажности осадков 60 процентов ее массу можно приблизительно оценить в $0,1 \cdot 10^{24}$ граммов.

Таким образом, общая масса свободной воды, обращающаяся в круговороте на поверхности Земли, в настоящее время равна округленно $1,6 \cdot 10^{24}$ граммам.

Мы не упомянули другие статьи круговорота, масса участвующей воды в которых много меньше полученного порядка 10^{24} граммов.

Ничтожный вклад дает космическое вещество. По данным Э. В. Соботовича, его ежегодно выпадает на земную поверхность и в океан от 1 до 10 миллионов тонн. Следует также учесть, что количество воды, идущей на увлажнение морских осадков, примерно равно количеству воды, вытесняемой из верхней 100—200-метровой осадочной толщи в ходе ее уплотнения и диагенеза. Так что эта часть баланса постоянна.

Свидетельства опусканий океанского дна

Важнейшее достижение международной программы океанского бурения, начатой в 1968 году с американского судна «Гломар Челленджер», — установление двух факторов. Первое: на дне океанов не было обнаружено осадков древнее 165 миллионов лет, что само по себе свидетельствует об их геологической молодости. В самом деле, если представить летопись Земли в виде книги, на каждой странице которой будет запечатлена история в миллион лет, то в такой книге будет 4600 страниц. Основное содержание книги — это жизнь Земли без океана и лишь на последних 165 страницах появляется повествование о нем.

Второе: на дне глубоководных котловин всех трех океанов обнаружены осадки и породы со следами субаэрального выветривания. Это говорит о том, что раньше они находились выше уровня моря. Из материалов по 509 изученным нами за последние 10 лет скважинам в 156 были установлены (причем самими участниками программы бурения) неоспоримые свидетельства мелководности или даже наземных условий в областях, которые ныне опущены на глубину от 1 до 6 и более километров.

При этом оказалось, что чем древнее мелководные отложения, тем глубже относительно уровня моря они залегают (рис. 1). Возникает вопрос: какова закономерность в распределении древних и мелководных отложений в распространении их на дне современного океана. Анализ показал, что такая закономерность имеется. В Атлан-

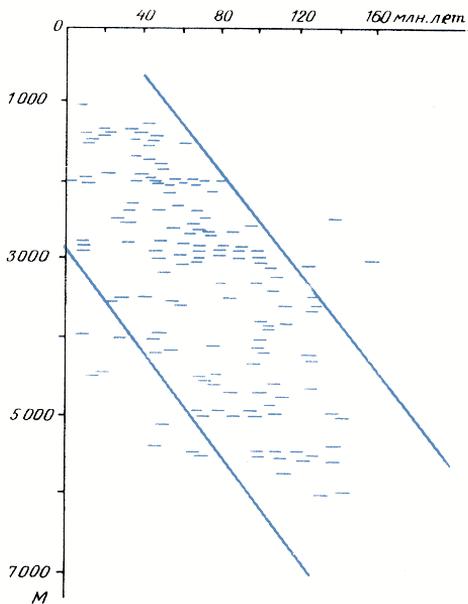


Рис. 1. Зависимость возраста мелководных отложений от современной их глубины залегания на дне Мирового океана по данным «Гломар Челленджер» (по Орленку, 1985)

тическом и Индийском океанах древнейшие осадки возраста 100—160 миллионов лет приурочены к континентальным окраинам (рис. 2). По мере приближения к срединно-океаническому хребтам их возраст закономерно уменьшается. В Тихом океане, наоборот, возраст осадков уменьшается от центральных областей океана к его периферии, т. е. к континентальным окраинам. Исключение — Восточно-Тихоокеанский хребет, где картина сходна со срединной областью Индийского и Атлантического океанов. Замечательно, что в этих же направлениях изменяется возраст подстилающих осадки вулканических пород. Вывод, который следовал из этих данных,

был закономерным: образование Атлантического и Индийского океанов началось с опусканий коры вдоль окраин будущих континентов, которые в последующем захватывали все новые области суши или мелкого моря, распространяясь в направлении к срединной области будущего океана. Области срединно-океанических хребтов здесь оказались вовлечены в опускание лишь в последние 25—30 миллионов лет. В Тихом океане процесс опусканий коры шел от центра океана к периферии. Повсеместно опусканиям предшествовали или сопровождали их мощные вулканические извержения. Это сочетание двух процессов, очевидно, не случайно. Оно проливает свет на причину процесса, который можно назвать процессом океанизации. По мере дегазации и вулканизма в недрах, на глубинах порядка 40—50 километров неизбежно должны возникать разуплотненные зоны. Вот в эти зоны нагруженная базальтовыми лавами кора будет пассивно проседать, занимая это освободившееся пространство. В дальнейшем в ходе продолжающегося остывания и уплотнения земного вещества глубинных зон (бывших магматических резервуаров) опускание дна, хотя и с меньшей скоростью и амплитудой, будет продолжаться. Учитывая общую гравитационную организацию вещества, этот механизм в условиях Земли представляется единственным энергетически реальным. Он же в конечном счете обуславливает общую контракцию, сжатие Земли и уменьшение ее радиуса.

Какова была скорость этих опусканий и что же происходило с водой? Возраст и современная глубина залегания мелководных

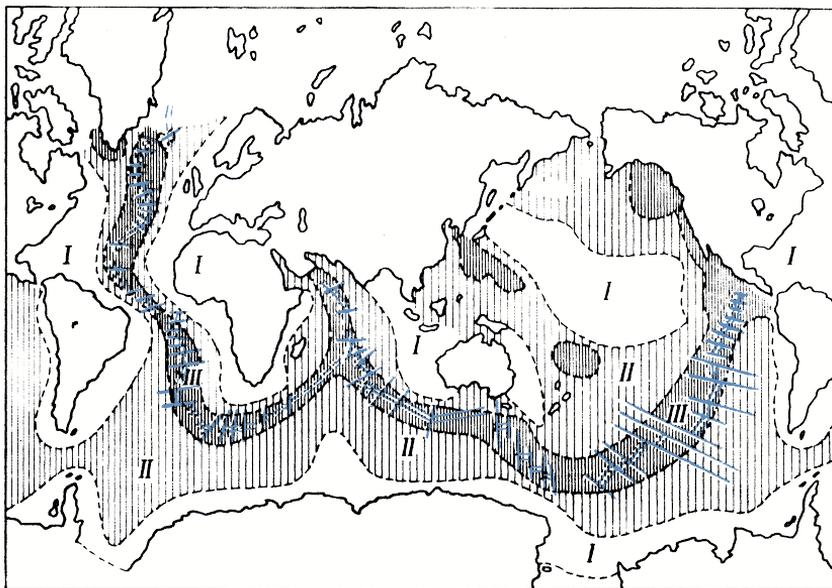


Рис. 2. Карта распространения древних мелководных отложений на дне океанов, обнаруженных бурением (по Орленку, 1983): I — отложения позднемюрского — мелового возраста; II — отложения палеогенового возраста; III — отложения неоген-четвертичного возраста

отложений по каждой скважине известны. Следовательно, можно определить среднюю скорость V опускания дна в районе каждой из 156 скважин:

$$V = (H + h) / t,$$

где H — глубина океана, h — мощность покрывающих мелководные отложения осадков, t — их возраст.

Расчеты производились с учетом уплотнения осадочной толщи после ее образования. Полученные таким образом 156 значений средней скорости опускания дна различных районов трех океанов показаны на графике (рис. 3).

В пределах 95 процентов доверительного интервала все расчетные точки легли, образовав четко выраженную экспоненциальную зависимость:

$$V(t) = at^{-1/c} + b,$$

где a , b , s — коэффициенты, легко определяемые из графика рис. 3.

Если же продолжить линию графика вверх до пересечения с осью скоростей (или допустить $t=0$), то она пересечет ось $V(t)$ в районе значения 605 мм/1000 лет, или 0,605 миллиметра в год.

Изучая график, мы прежде всего должны отметить поразительную согласованность данных по различным океанам — Тихому, Атлантическому и Индийскому. Подобная согласованность полуэмпирических параметров не может быть случайной для столь большого массива исходных данных. Впервые количественно найденная закономерность позволи-

ла подойти к решению целого ряда фундаментальных проблем. Она отражает не только скорость опускания дна океана в послелюрский период геологической истории, но и темпы выноса внутрипланетарной воды на поверхность Земли.

Планета, извергающая воду

Начало резкого подъема кривой опускания дна на рис. 4 приходится на интервал времени 50—60 миллионов лет назад. Этот интервал совпадает с самым ярким рубежом геологической истории Земли, отделяющей мезозойскую эру от кайнозойской. Если бы формирование гигантских океанических впадин происходило без их одновременного заполнения водой, то произошло бы катастрофическое осушение континентов, резкое изменение климата и органической жизни в кайнозойскую эру. Одновременно бурные потоки воды образовали бы глубокие каньоны на континентальных окраинах, а на дне океанических впадин возникли бы гигантские шлейфы галечников, выносимых этими потоками. Однако ничего этого не наблюдается на самом деле, так же как и следов катастрофического осушения материков в последние 60 миллионов лет. Но может быть, формирующиеся впадины заполнялись водой, сливающейся с материков? И на этот вопрос мы должны ответить отрицательно, так как подавляющая часть морских осадочных отложений суши не только кайнозоя, но и прошлых эпох преимущественно мелководна. Это значит, что в пределах современной суши никогда не было глубоководных и обшир-

ных океанов, подобных современным. В настоящее время во всех водоемах суши масса воды не превышает 3 процентов от массы воды Мирового океана. Следовательно, вклад материковых вод совместно с водами, находившимися в пределах опускающейся суши и мелководных морей, был весьма незначительным.

Полученный вывод подтверждается широким распространением мелководных осадков и даже континентальных отложений в последние 160—25 миллионов лет на месте современных океанов. Опущавшееся дно формировавшегося в кайнозое океана одновременно заполнялось водой из недр Земли. Она поднималась вместе с вулканическими извержениями и по глубинным разломам каменной оболочки. Следы этого мощного вулканизма запечатлены в мощном почти двухкилометровой толщины плаще базальтовых пород, покрывающих большую часть площади дна современного океана.

Удивительная картина последних 160 миллионов лет истории Земли открывается нашему взору при анализе графика. Оказывается, что даже в этот, крайне небольшой, отрезок времени вода на поверхность планеты выносилась отнюдь не так равномерно, как это предполагалось учеными. Если до рубежа мезозоя и кайнозоя (60 миллионов лет) скорость ее поступления составляла всего 25—30 миллиметров за 1000 лет, то позднее в кайнозое происходит ее быстрое увеличение. В настоящее время планета извергает воду с максимальной за последние 160 миллионов лет скоростью — 605 миллиметров за 1000 лет, или около 0,6 милли-

метра в год. Сюда не входит количество воды, идущей на увлажнение непрерывно накапливающихся морских осадков, биосферы, теряющейся в атмосфере, т. е. величину 0,6 миллиметра в год следует рассматривать как нижнюю границу возможных темпов выноса на поверхность планетарной воды. Расчеты показывают, что подлинная цифра прибли-

жается к 1 миллиметру в год.

Если подходить к полученному значению скорости дегидратации земных недр с обыденных, житейских позиций, то этот миллиметр мы и не заметим даже при высокоточных измерениях. Однако если измерять время хотя бы тысячами лет, то в сравнении с общей длительностью в десятки миллионов лет процесса ускоренного

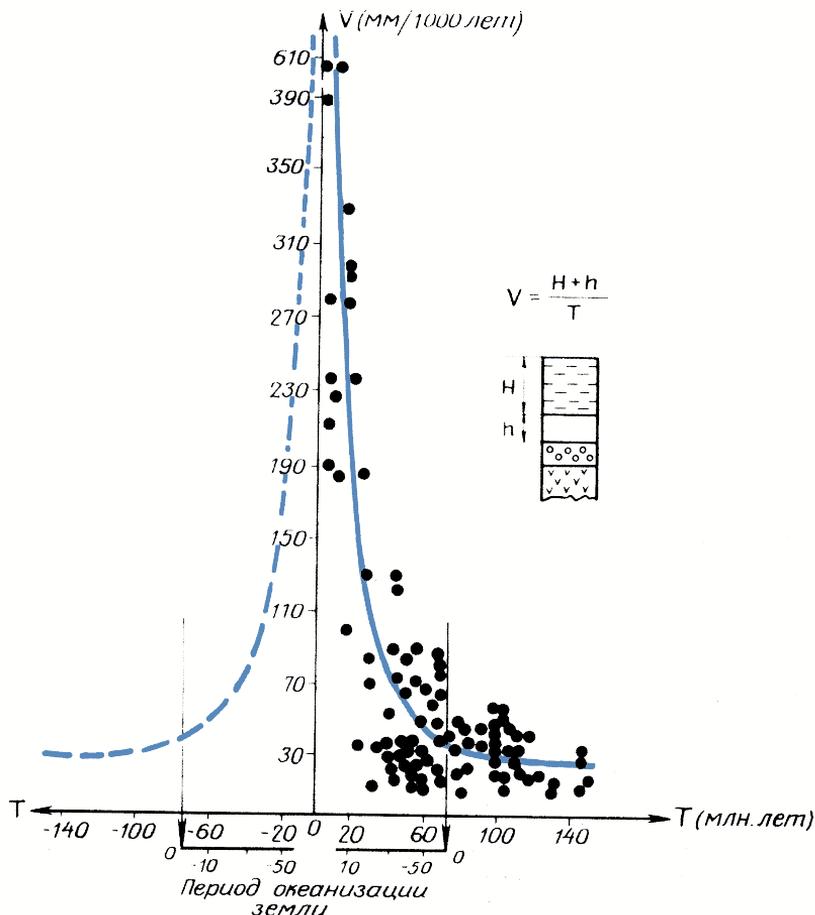


Рис. 3. График, характеризующий скорость поступления свободной воды на поверхность Земли в последние 165 миллионов лет (по Орленку, 1983, 1985)

выноса воды счет пойдет уже на метры. А это весьма ощутимо меняет наши представления о консервативности сложившихся условий обитания на Земле. К тому же следует учитывать и другие факторы, приводящие к подъему уровня моря.

Так, столетние наблюдения на водомерных постах по берегам морей и океанов показали, что уровень океана действительно поднимается со средней скоростью 1,5 миллиметра в год. До сих пор этот подъем объясняли потеплением климата. И действительно, климат за это же время теплел. С 1880 по 1980 год температура поднялась в среднем на 0,8 градуса. Спутниковыми наблюдениями и непосредственными исследованиями в Антарктиде и Гренландии установлено, что ежегодно происходит сокращение их ледниковых покровов примерно на 250 кубокилометров. Это способствует подъему уровня океана на 0,7 миллиметра в год. Кроме того, воду вытесняют морские осадки, ежегодный объем которых составляет 7 кубометров, или 0,02 миллиметра по уровню. Еще меньше поднимается уровень за счет ежегодного поступления 1 кубокилометра вулканического материала. Следовательно, оставшаяся от 1,5 миллиметра часть — 0,78 миллиметра в год — поступает не за счет климатических потеплений. Это глубинная, внутрипланетарная вода, выносимая с продуктами вулканизма и по глубинным разломам. Как видим, полученная независимым путем цифра мало отличается от рассчитанной нами выше величины 0,605 миллиметра в год. Таким образом, в балансе воды необходимо учитывать внутрипланетарную со-

ставляющую, равную 0,6—1,0 миллиметра в год. Если умножить эту цифру на плотность морской воды и объем впадин Мирового океана, то мы получим массу ежегодных поступлений глубинной воды на поверхность Земли. Она равна $3,6 \cdot 10^{17}$ граммов.

Таким образом, в объеме ежегодно поступающих в океан вод присутствует постоянная в историческом периоде статья, равная 0,6—1 миллиметра по уровню и $3,6 \cdot 10^{17}$ граммов по массе, не зависящая ни от каких климатических изменений.

Теперь нетрудно понять: если темпы поступлений глубинной воды будут превышать скорость углубления дна океана, т. е. емкость океанических впадин не будет увеличиваться, то избыток воды выплеснется на прилегающую сушу, затопит низменные пространства материков. Начнется трансгрессия — наступление моря на сушу. Если же темпы поступления воды будут меньше скорости проседания дна, то растущие впадины океана поглотят избыток воды и начнется регрессия моря, т. е. осушение низменных территорий материков.

Примеры затопления Голландии, Средиземноморья, других районов свидетельствуют, что мы с вами, дорогие читатели, живем в эпоху трансгрессии, в эпоху быстрого наступления океана на сушу. Об этом говорит и весь ход графика скорости поступления воды за последние 60 миллионов лет.

Ну а сколько воды Земля теряет ежегодно при фотоллизе в космическое пространство? Чтобы найти и эту статью баланса, определим из графика среднюю скорость выноса воды на поверхность за последние 160 миллионов лет. Она рав-

на $0,1$ миллиметра в год или $3,6 \cdot 10^{16}$ граммам в год. Следовательно, за период океанообразования, т. е. за последние 60 миллионов лет, из недр Земли на поверхность было переброшено $2,2 \cdot 10^{24}$ граммов воды. Это на $0,22 \cdot 10^{24}$ граммов больше массы воды в современном океане, равной $1,42 \cdot 10^{24}$ граммам. Куда же девалась эта огромная масса воды? Полученный избыток характеризует объем потерь на увлажнение морских осадков $0,1 \cdot 10^{24}$ граммов и биосферы. Оставшаяся часть $0,12 \cdot 10^{24}$ граммов была утрачена Землей при фотоллизе в верхних слоях атмосферы. Отсюда находим, что средние ежегодные потери в космос составляют примерно $2 \cdot 10^{15}$ граммов или около 1 процента от современных ежегодных поступлений воды на поверхность планеты. Так мы нашли еще одну неизвестную ранее статью баланса земной воды — потери в космическое пространство. Теперь мы знаем, сколько наша планета ежегодно получает свободной воды и сколько ее теряется безвозвратно. А это уже создает предпосылки для разработки научного прогноза грядущих изменений площади суши и моря на поверхности Земли, а с ними особенностей будущего климата и условий жизни.

Но прежде разберемся, какими водными ресурсами располагает наша планета. Несмотря на свой почтенный возраст, она, как мы видим, на исходе своих 4,5 миллиарда лет вдруг обнаруживает бурную активность. В самом деле, за всю свою предыдущую историю, как показывают расчеты, было произведено почти столько же воды ($4,2 \cdot 10^{24}$ граммов), сколько за последние 60 миллионов лет. А это

означает, что земной океан мог возникнуть лишь в кайнозое, т. е. это очень молодое геологическое образование. В прошлом, вследствие малого количества свободной воды и низких темпов ее поступления, могли существовать лишь мелководные моря, более или менее равномерно рассеянные по лику Земли. В самом деле, если исходить из современных темпов подъема уровня моря, наблюдаемых в последние 100 лет ($1,5$ миллиметра в год), то за 1000 лет подъем составит $1,5$ метра. Согласившись со сторонниками равномерного поступления внутрипланетарной воды на поверхность Земли, мы при данной скорости подъема уровня только за последние 500 миллионов лет получим совершенно абсурдную цифру прироста толщины вод океана — 75 километров. Отсюда следует, что в последнее время темпы заполнения океанских впадин водой были значительно более высокими, чем в прошлом. Причина тому — не общее потепление климата, ибо климат явление вторичное и зависит от соотношения площади суши и моря. Речь может идти только о возросшем поступлении воды из земных недр. Если обратиться к данным о внутреннем строении планеты, то здесь хорошо выделяются зоны, в которых вещество находится в состоянии, близком к расплавленному. Это зоны жидкого ядра и астеносферы, располагающейся на глубине 50—1000 километров от поверхности (рис. 4).

Заключенная между ними оболочка по совокупности физических параметров содержит вещество, не прошедшее еще через горнило физико-химических реакций в ядре и астеносферы. Полагая, что,

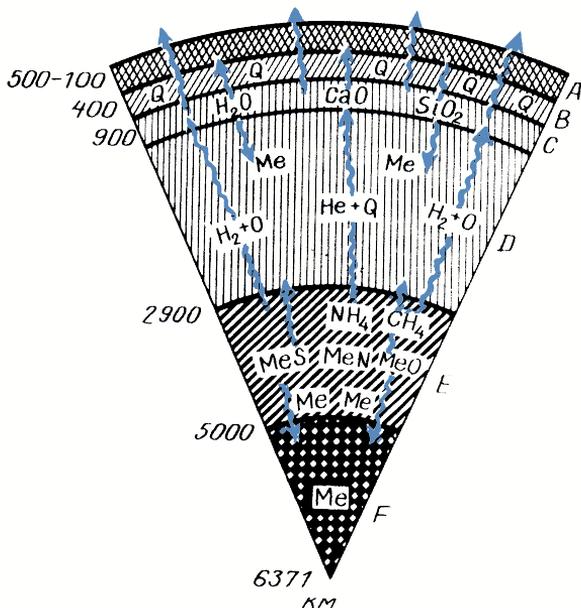


Рис. 4. Внутреннее строение и эволюция протовещества Земли

как и в метеоритах, вещество оболочки содержит 5 процентов воды, можно оценить, сколько еще из него может быть выделено свободной воды. При сохранении найденной средней скорости водных поступлений в будущем наша планета способна еще произвести около полутора объемов Мирового океана воды. Естественно, по мере исчерпания ресурсов оболочки процесс дегидратации будет идти замедляясь. Расчеты показывают, что этот процесс завершится через 60—70 миллионов лет. Если эти данные нанести на наш график, то мы увидим, что он почти симметричен относительно настоящего времени. Это значит, что максимальной интенсивности вынос внутрипланетарной воды достигнет в ближайшие тысячи или миллионы лет, после чего процесс обезвоживания (дегидратации)

недр начнет спадать, пока не прекратится совсем. Однако будет продолжаться потеря воды в космическое пространство (фотолиз). Океаны будут медленно высыхать, пока не исчезнут окончательно с лика Земли. Это произойдет через 300—350 миллионов лет. Поверхность ныне цветущей планеты станет подобно венерианской или марсианской, ибо вместе с водой исчезнет и жизнь. Таков общий прогноз эволюции. Он обосновывается тем, что масса гидросферы есть функция внутренней активности планеты и температурных условий на ее поверхности. При спаде внутренней активности приход воды из недр будет постепенно сокращаться, пока не прекратится совсем. А пока потоки планетарной воды непрерывно поднимают уровень Мирового океана. В результате океан

наступает на сушу, смягчается климат планеты. Современный баланс суши и моря, а с ним и особенности климата — это лишь краткий миг в геологической истории Земли. Они были иными в прошлом и будут неизбежно меняться в будущем.

Вода на Земле в далеком прошлом

Теперь мы знаем, что основная масса воды на Земле поступила из ее недр, т. е. имеет «земное» происхождение. Космос дает ничтожно мало — десятитысячную долю процента, поэтому в расчетах этим фактором можно пренебречь.

Рассмотрим более подробно вопрос: какими водными ресурсами располагает планета и какой механизм транспортирует воду на поверхность?

Океанизация сопровождается активным вулканизмом, и это наводит на мысль — а не является ли он источником свободной воды на Земле?

Как показал советский вулканолог Е. К. Мархинин, в продуктах современных вулканических извержений действительно присутствует вода в виде паров, растворов и входит в состав магмы. Ее среднее содержание при этом достигает 4—5 процентов от массы вулканического материала. На поверхность Земли ежегодно перебрасывается из недр 9 миллиардов тонн магмы, пепла, газов и различных паров, т. е. $9 \cdot 10^{15}$ граммов. По единодушному мнению ученых, напряженность вулканизма в истории Земли была в среднем близка современной. Поэтому, умножив цифру $9 \cdot 10^{15}$ грам-

мов на период геологической активности $4,5 \cdot 10^9$ лет, получаем $4,2 \cdot 10^{25}$ граммов. Столько вулканического материала было выброшено на поверхность. Если весь его равномерно рассыпать на поверхности Земли, то получится слой толщиной в 30 километров. Таким образом, можно заключить, что верхняя часть каменной оболочки Земли — ее земная кора — сформирована продуктами вулканизма, а все ее слои некогда побывали на земной поверхности, испытали окисление атмосферным кислородом и преобразование в результате жизнедеятельности организмов.

Зная общую массу вулканического материала, мы можем определить, сколько воды принесли вулканы на земную поверхность: 5 процентов от $4,2 \cdot 10^{25}$ граммов составляет $2,1 \cdot 10^{24}$ граммов. Но в течение всей геологической летописи Земли вода непрерывно со скоростью около $2,0 \cdot 10^{15}$ граммов в год терялась при фотоллизе. Ее общие потери составили около $2,58 \cdot 10^{24}$ граммов.

Масса современной гидросферы равна $1,6 \cdot 10^{21}$ граммам, значит, всего было выработано планетой $(1,6 + 2,5) \cdot 10^{21} = 4,1 \cdot 10^{21}$ граммов воды. Следовательно, недостающая часть воды ($2,0 \cdot 10^{24}$ граммов) поступила на земную поверхность невулканическим путем. Исследования Е. К. Мархинина показали, что вода может транспортироваться также по глубинным разломам, сбрасываться магмой на глубине при падении давления. Иными словами, вулканизм дал лишь половину наземной воды. Другая половина поступила невулканическим путем.

Но далеко не вся масса воды вышла на поверхность. Значитель-

ная ее часть осталась захороненной в недрах Земли, пошла на увлажнение морских осадков. Сколько же из всей этой массы глубинной воды достигло поверхности?

Для ответа на этот вопрос нам придется еще раз заглянуть в глубокие недра Земли.

В центре планеты находится металлическое ядро, выше до глубин 2900 километров обширная зона жидкого расплава, так называемое внешнее ядро, которое облекается твердой мантией (оболочкой) (см. рис. 4). В этой мантии и сосредоточено первичное планетное вещество, из которого была сформирована наша Земля. Считается, что преобразование этого протовещества происходит в результате физико-химических реакций в зоне внешнего ядра. Продукты преобразования — тяжелые металлы — опускаются вниз и формируют плотное внутреннее ядро, а легкие газы и силикаты вместе с растворенной в них водой поднимаются в верхние горизонты планеты. Оценивая массу ядра, земной коры и внешнего ядра, можно примерно найти, сколько протовещества уже подвергалось переработке в течение всей истории Земли. Эта величина составляет $361 \cdot 10^{25}$ граммов. Не прошедшее еще через горнило физико-химических реакций вещество ($240 \cdot 10^{25}$ граммов) сосредоточено в мантии Земли. Считается, что состав протовещества близок составу выпадающих на Землю метеоритов. Но метеориты содержат в среднем около 0,5 процента воды. Это позволит оценить, сколько воды было выработано планетой при распаде $361 \cdot 10^{25}$ граммов протовещества: получается $1,8 \cdot 10^{25}$ граммов. Из

этой огромной массы лишь $4,2 \cdot 10^{24}$ граммов поступило на поверхность в жидкой (свободной) фазе, что составляет 23 процента. Значит, 77 процентов воды навсегда остались в недрах верхних этажей планеты. Непрошедшая через горнило физико-химических реакций часть протовещества оболочки способна дать еще $1,2 \cdot 10^{25}$ граммов воды и, следовательно, $2,76 \cdot 10^{24}$ граммов в свободной фазе.

Приведенные расчеты позволяют сделать ряд важных выводов относительно прошлой истории свободной воды и будущей эволюции Мирового океана.

За всю свою жизнь Земля уже выработала $\frac{2}{3}$ воды, содержащейся в протопланетном веществе. В будущем, как уже отмечалось, она еще выработает примерно полтора объема Мирового океана, после чего поступление воды на земную поверхность прекратится.

Из вынесенной на поверхность воды за период океанизации, т. е. за последние 70 миллионов лет, была выработана почти половина. Оставшаяся часть поступила на поверхность в течение всей предыдущей истории Земли, т. е. за 4 миллиарда лет. Естественно, этой воды было недостаточно, чтобы сформировать мировой океан, подобный современному. Этой массы воды должно было хватить лишь на образование небольших мелководных водоемов. Поскольку пышная наземная растительность появилась лишь в середине палеозоя — в каменноугольном периоде, то мы должны признать, что только к этому времени мелководные водоемы более или менее равномерно покрыли земную поверхность.

До карбона воды еще было мало, поэтому жизнь не могла выйти на бесплодную неувлажненную сушу, продолжая развиваться в немногочисленных морских бассейнах докарбонического времени. С появлением обширного зеркала водоемов ускорился фотолитизм, следовательно, стал быстро накапливаться в атмосфере кислород. В производство кислорода включилась также растущая масса биосферы. Атмосфера Земли становится все более кислородной, что способствовало развитию высших форм органической жизни.

Таким образом, вся история Земли может быть разделена на два периода — доокеанический, включающий криптозой и большую часть фанерозоя, и период океанизации, начавшийся в конце мезозоя (70 миллионов лет назад) и продолжающийся с наивысшей скоростью в настоящее время. Причину такого разделения определит постепенным характером накопления выделяющейся из недр свободной воды на земной поверхности. Иными словами, эволюция лика Земли и жизни шла, постепенно ускоряясь.

Из приведенного следует также, что Мировой океан чрезвычайно молодое геологическое образование. Никогда на Земле не было раньше подобного глубоководного и обширного резервуара свободной воды. Поэтому тщетно искать следы древних океанов на современной суше — их там никогда не было. Океан не дается планете изначально. Он появляется в результате длительной и долгой эволюции протовещества, в результате постепенного накопления выносимой из недр планеты свободной воды.

Возникает вопрос: как долго Земля еще будет производить воду и сколько лет будет существовать океан?

Реальная фантастика голубой планеты

Как следует из графика, средняя скорость поступления воды в период океанизации составляет $3,6 \cdot 10^{16}$ граммов в год. Она была на порядок ниже современной ($2,7 \cdot 10^{17}$ граммов в год). При сохранении средних темпов дегидратации, установившихся в кайнозойе, в последующее время для выработки оставшейся массы свободной воды в недрах планеты ($2,76 \cdot 10^{24}$ граммов) требуется $2,76 \cdot 10^{24} \text{ г} / 3,6 \cdot 10^{16} \text{ г/год} = 8 \cdot 10^7$ лет. Следовательно, Земля еще 80 миллионов лет будет вырабатывать воду, после чего ресурсы ее протовещества будут исчерпаны и поступление воды на поверхность полностью прекратится. Если мы нанесем эту цифру на левую часть графика и предположим, что последующие поступления воды вследствие ее уменьшения в оболочке будут происходить все замедляясь, т. е. аналогично закону возрастания в период океанизации, то получим симметричный график. Следовательно, максимума дегидратации следует ожидать в ближайший миллион лет, после чего скорость поступлений воды начнет уменьшаться. Продолжительность периода океанизации составляет всего 150—160 миллионов лет. Океанизация — это финал эволюции планеты. Развитая гидросфера возникла на Земле на заключительном этапе ее внутренней активности.

Как же будет изменяться лик Земли в процессе финального этапа океанизации?

Современные темпы поступления эндогенной воды составляют 0,6 миллиметра в год. Они, как мы видели, установились многие миллионы лет назад. Поэтому у нас нет никаких оснований считать, что, скажем, в ближайшие тысячи и даже сотни тысяч лет (что в геологическом масштабе времени — всего лишь миг) эти темпы могут резко измениться. Значит, через 10 тысяч лет уровень океана при отсутствии крупных изменений его емкости за счет значительных углублений дна поднимается на 6,1 метра. Но такое увеличение уровня неизбежно повлечет за собой общее потепление климата, что может привести к полному или значительному таянию полярных льдов Антарктиды и Арктики. Ликвидация этих ледников повысит уровень моря еще на 63 метра, т. е. в сумме с глубиной водой уровень поднимется на 69—70 метров. Это приведет к затоплению всей низменной суши, треть которой лежит на отметке ниже 100 метров. Через 100 тысяч лет уровень моря поднимется еще на 61 метр и достигнет отметки +124 метра. Под водой окажутся все равнины Земли. Через миллион лет уровень поднимется на 500 метров и достигнет отметки 600—650 метров. Теперь уже только горные области в виде редких островов будут возвышаться над гладью безбрежного океана. Наша Земля превратится в планету-океан. Все предыдущее рассмотрение показывает, что реальность столь быстрого и значительного подъема уровня Мирового океана чрезвычайно высока, и то, что происходит на побережье Голлан-

дии, Средиземного моря и в других районах, — это не случайные явления. Наблюдаемое здесь наступление океана — это следствие общепланетарного процесса, имя которому — океанизация Земли.

Что ожидает планету в более отдаленном будущем? Как было показано, в предстоящие 70—80 миллионов лет земные недра вырабатывают еще примерно полтора объема Мирового океана, т. е. $2,76 \cdot 10^{24}$ граммов воды. Вместе с имеющейся массой гидросферы ($1,64 \cdot 10^{24}$ граммов) это составит $4,4 \cdot 10^{24}$ граммов. Современные ежегодные потери воды на фотоллиз составляют примерно 2 процента ее ежегодных поступлений. При дальнейшем подъеме уровня моря площадь зеркала Мирового океана увеличится с $360 \cdot 10^{10}$ до $400 \cdot 10^{10}$ квадратных сантиметров и более. Значит, испарение будет больше, чем теперь. В результате фотоллиз ускорится на одну треть.

Следовательно, при отрицательном балансе водных поступлений (только расход; приход воды, как мы теперь знаем, через 70—80 миллионов лет прекратится) для полного исчезновения гидросферы с поверхности Земли потребуются (с учетом захоронения 20 процентов воды в будущей 1—2-километровой толще морских осадков) $6 \cdot 10^8$ лет. Таким образом, в течение ближайшего миллиона лет вся поверхность Земли, за исключением высокогорных областей, будет покрыта водами Мирового океана и на 200—300 миллионов лет она превратится в планету-океан. Затем высыхающие океаны вновь откроют погребенные под морским илом континенты, чтобы через последующие 200—300 миллионов лет навсег-

да исчезнуть с лика Земли. Поверхность планеты превратится в безжизненную пустыню с зияющими впадинами высохших океанов, над которыми будут высоко воздыматься останки некогда цветущих континентов.

Таков неизбежный закон эволюции планеты — от бесплодной, безводной, огнедышащей Земли к цветущему зелено-голубому оазису, затем к планетезе-океан и наконец к безжизненной пустыне. Весь этот этап займет около полумиллиарда лет. Думается, что у цивилизации будет достаточно времени, чтобы научиться управлять процессами и в глубоких недрах Земли. Возможно, будут созданы условия для жизни на Луне, Марсе, Венере, наконец человек сможет переселиться в другие, более благоприятные для жизни миры.

География морей доокеанической эпохи

Поверхность Земли находится в постоянном движении. Преимущественная форма этих движений — медленные опускания. Морские бассейны, заполняющие понижения суши, в связи с этим мигрируют в пространстве. Если впадина с некоторых пор перестала погружаться, то по мере заполнения ее осадками море становится все более и более мелким и либо исчезает совсем, либо перемещается (перетекает) в соседнюю область, где опускания продолжают. Таким образом, практически вся земная поверхность в разное время была покрыта морями. В целом ряде случаев море неоднократно возвращалось на некогда покинутую им территорию.

Уходя, море оставляет следы своего пребывания в виде различных морских осадков — глин, песчаников, мергелей, известняков. Эти осадки, оказавшись на поверхности Земли, подвергаются размыву и переотложению водными потоками, реками в расположенные поблизости другие моря и водоемы.

Если по истечении некоторого времени некогда оставленная территория вновь окажется затопленной морем, то новые осадки будут ложиться на размытую поверхность предыдущих морских отложений. Перерыв же в накоплении осадков будет зафиксирован в изменении состава, возраста и строения осадков выше и ниже перерыва. Часто поверхность размыва маркируется красноцветными континентальными отложениями, возникающими при окислении пород и древних почв атмосферным кислородом. На границе перерыва располагаются галечники, гравий — следы размыва пород. Иногда они сцементированы песком и глиной в конгломераты. Наличие последних всегда является указателем отступления моря и пребывания данной территории в субэвраль-ных условиях.

В разное время в морях жили различные организмы. Изменение внешних условий, объема воды, газового состава атмосферы, климата способствовало тому, что одни виды органического мира вымирали, другие приходили им на смену. Отмершие остатки организмов — скелеты, раковины — захоронялись в морских осадках. Если пробурить скважину через все эти слои, то по образцам (кернам), поднятым на разных горизонтах пород, можно устано-

вить, когда и в течение какого времени на данной территории было море, а когда была суша.

Пробуренные в настоящее время с американского судна «Гломар Челленджер» 600 скважин в Индийском, Тихом и Атлантическом океанах позволяют восстановить палеогеографию океанических областей в позднемезозойское время (65—165 миллионов лет назад) и проследить совместно с аналогичными данными по материкам, как изменялась обстановка на земной поверхности с тех далеких времен и до наших дней.

Первый и самый удивительный факт, который был получен при анализе данных глубоководного бурения, заключался в том, что на дне современного океана не было обнаружено осадков древнее 165 миллионов лет. Следовательно, обширные и глубокие морские бассейны на территории современных океанов появились лишь в поздней юре. Область распространения морских отложений поздней юры довольно четко определена (см. рис. 2).

Наиболее древний морской бассейн возник 165 миллионов лет назад в районе материковой окраины Северной Америки. Несколько позднее (145—135 миллионов лет назад) — вдоль континентальной окраины Европы и Северной Африки. К этому же времени относится формирование узких морских бассейнов вдоль западной окраины Южной Америки, восточной окраины Африки и вдоль восточного побережья Австралии. Позднее (135—140 миллионов лет назад) возникло несколько морских бассейнов сравнительно небольших размеров в центральной части Тихого океана.

Эта картина распространения юрских морей хорошо просматривается на составленной нами палеогеографической карте того периода (см. рис. 2).

А что же происходило в это время на современных континентальных блоках? Чтобы ответить на этот вопрос, мы нанесли на нашу карту палеогеографическую обстановку юрского периода, такой, как она впервые была показана академиком Н. М. Страховым (см. карту). В результате границы наших бассейнов совпали с континентальными морями юры. Этот факт убеждает в правильности выполненной палеогеографической реконструкции.

Анализируя полученную картину, можно отметить следующую закономерность. Позднеюрские моря имели весьма ограниченное распространение в области современных океанов. Они располагались в виде узкой прерывистой полосы вдоль современных континентальных окраин в Атлантике и Индийском океане, а также занимали довольно обширную область в центральной части Тихого океана. За пределами этих областей располагалась суша.

В то же время в пределах современных материков позднеюрские моря занимали более обширные пространства. Создается впечатление, что позднеюрская морская трансгрессия распространялась главным образом в пределы современных материков. Область будущих океанов оставалась в целом регрессивной — здесь преобладала суша.

Вся срединная часть современной Атлантики представляла собой обширную сводовую сушу, которая распространялась на север вплоть до Шпицбергена.

Вся западная и центральная части современного Индийского океана также была сушей. Тихого океана 140—160 миллионов лет назад тоже не было. Огромная низменная суша окружала здесь срединные морские бассейны.

Возникает вопрос: а не могла ли часть юрских морских осадков быть уничтоженной размывом при отступлении моря в раннем мелу? Если это действительно имело место, то площадь морей была больше показанной нами? Такую возможность мы не можем исключить. Однако если часть осадков и была размыва, то площадь размыва не была значительной, так как разрушению подвергаются в первую очередь маломощные отложения, т. е. бывшие краевые (прибрежные) зоны седиментации. Кроме того, в осадках раннемеловых морей, пришедших на смену позднеюрским, были бы зафиксированы следы грандиозного размыва юрских отложений в виде мощных толщ терригенных осадков. Но данные бурения показывают, что в осадках раннемеловых морей преобладают карбонатные фации, т. е. главным поставщиком осадочного материала в раннемеловых морях были морские организмы, а не суша.

Таким образом, в масштабе карты показанные очертания позднеюрских морей на поверхности Земли в целом отражают реальную картину распределения суши и моря 135—165 миллионов лет назад.

Позднее, в раннем мелу, размеры всех морских бассейнов, возникших в юре, заметно возросли (см. карту), а их глубина увеличилась и в среднем достигла 3000 метров. Однако образование новых морей в это время в области

будущих океанских впадин, видимо, не происходило.

В целом основные черты тектонического режима и особенности седиментации, возникшие в поздней юре, сохранились в этих областях и в раннем мелу. В Атлантическом и Индийском океанах прогибание континентальных окраин продолжалось в условиях спокойного тектонического режима. В Тихом океане оно по-прежнему сопровождалось вулканизмом.

В конце раннего мела море вновь начинает наступать на сушу. Эта трансгрессия достигла наибольшего размаха в позднем мелу, на рубеже двух крупнейших геологических эр — мезозойской и кайнозойской. В результате этой трансгрессии значительно расширились позднеюрские-раннемеловые морские бассейны и заложены новые (см. карту). В частности, разобщенные моря по обе стороны Атлантики и Индийского океана впервые сливаются в единый бассейн, который непрерывной полосой окаймлял наметившиеся контуры будущих материков. Возникли узкие прогибы вдоль восточной окраины Северной и Южной Америки и западнее Австралии (см. карту). Появились моря по периферии Антарктиды. В конце мелового периода, видимо, началось образование Северного океана.

Общий характер осадконакопления, сложившийся в юрско-нижнемеловых бассейнах, в целом сохраняется и в позднемеловое время.

Меловые бассейны Тихоокеанского сегмента также заметно расширили свои границы в направлении от центра к периферии (см. карту). В осадках преобладают мелководные карбонатные породы и терригенные бурые глины. Не-

редко они включают прослойки вулканических пород и пепла.

Подводя итог проведенному рассмотрению начального этапа океанизации Земли, необходимо отметить, что в позднем мезозое, т. е. 70—165 миллионов лет назад, Мирового океана как такового еще не существовало. Для этого, как мы теперь понимаем, еще не было накоплено достаточно свободной воды на земной поверхности. Однако именно в позднем мезозое началось заложение глубоководных морских бассейнов по периферии будущих Атлантического и Индийского океанов и в центре Пасифика. Общее направление увеличения площади морских бассейнов в первых происходило от периферии будущих континентов к центру будущих океанов, во вторых, наоборот, от центра к периферии. В целом же заметно смещение общего плана водной оболочки Земли в сторону современных континентальных блоков. Иными словами, поздний мезозой еще оставался в целом трансгрессивным на большей части континентальной суши и регрессивным в области будущих океанов. Срединные зоны Атлантики и Индийского океана, а также обширные площади периферии Тихого океана еще были заняты сушей. В юре обширные ее площади были покрыты материковыми льдами.

Моря эпохи океанизации Земли

В кайнозое, т. е. 65 миллионов лет назад, объем поступления свободной воды на земную поверхность начинает быстро возрастать. Это хорошо видно из графика $V[t]$ (см. рис. 3). Одновременно

резко расширилась площадь палеогеновых морских отложений на территории современных океанов (см. карту). Граница распространения палеогена, по данным бурения, прослеживается до середины склона, а местами и до гребней рифтовых хребтов. Однако сводовая область этих хребтов, как правило, лишена палеогеновых осадков. Здесь, в том числе и в рифтовой долине, распространены лишь осадки более молодого неогенового возраста. Нередко они запечены в базальтовых лавах современного происхождения.

Осадочный покров палеогена закономерно сокращается по мощности на сводах рифтовых хребтов. Все это позволяет заключить, что до конца палеогена сводовые области рифтовых хребтов и ряда подводных возвышенностей еще оставались сушей. Лишь в конце палеогена, начале неогена срединные области Атлантики и Индийского океана, рифтового Восточно-Тихоокеанского хребта (см. карту) были вовлечены в продолжающееся погружение океанических секторов. По-видимому, в середине неогена здесь возникли глубоководные условия, и океан приобрел границы, близкие к современным.

Таким образом, в кайнозое происходит быстрое смещение общего плана водной оболочки планеты с континентальных блоков в область будущих океанов. Окончательно сформировались их контуры. Иными словами, ранний кайнозой становится трансгрессивным на большей части современных океанических площадей и существенно регрессивным (что подтверждается и данными Н. М. Страхова) в пределах континентальных блоков. Именно в палеогене проис-

ходит массовое опускание дна океанических областей. Судя по распространению морских осадков этого возраста, почти две трети площади современного Мирового океана заложилось в то время. Отсюда не случайно широкое распространение кайнозойского платобазальтового вулканизма на дне котловин всех океанов. Более молодой поздненеогеновый-современный вулканизм имеет уже более ограниченное распространение и охватывает области гребней рифтовых хребтов, островных дуг и Кордильер восточной окраины Тихого океана. Из приведенного ясно, что он, по существу, маркирует зоны позднейших неоген-четвертичных опусканий суши, вовлеченные в общий процесс океанизации Земли. Отсюда становится понятным, что современная тектоническая активность, выражающаяся в высокой сейсмичности и вулканизме рифтовых зон в средней части Атлантики, Индийского и Тихого океанов, на островных дугах и по периферии Пацифика, отражает фронт последнего этапа океанизации в этой обширнейшей области Земли. Замечательно, что образование гигантских глубоководных впадин океанов сопровождалось ускоренным поступлением глубинных вод. Если бы этого не происходило, перед нашим взором предстали бы зияющие впадины океанов, едва заполненные водой, над которыми возвышались бы глыбы материков.

Одновременность процессов опусканий, вулканизма и ускоренного притока эндогенной воды отнюдь не случайна. Это звенья одного общепланетарного процесса.

Итак, окончательное установление термических контрастов на по-

верхности Земли, близких к современному, а с ними и особенностей климата произошло лишь во второй половине миоцена после погружения последних сухопутных мостов в океане. В итоге установилась глобальная система океанских течений и в значительной мере контролируемые ими особенности атмосферной циркуляции. Современный климат — это в конечном счете тоже продукт океанизации.

Во второй половине миоцена континенты приобрели современные очертания и образовалось единое зеркало Мирового океана. Исчезли последние сухопутные мосты вдоль сводов рифтовых хребтов. Как видно из приведенной выше таблицы, наиболее быстрое углубление дна в кайнозое происходило в районе океанических котловин и в прилегающих морях. Заложенные еще в позднем мелу возвышенности опускаются в 2,5—3 раза медленнее. Поэтому к четвертичному периоду они сохраняются в виде остаточных возвышенностей. К таковым в океане относятся все рифтовые хребты и глыбовые поднятия типа Рокколл (западнее Англии), Риу-Гранде (к востоку от Бразилии), Сьерра-Леоне (в экваториальной Атлантике) и многие другие.

Моря западной части Тихого океана начинают фармироваться только в миоцене в результате стремительного опускания краевых частей некогда (еще в палеогене) единого континента, объединявшего Азию, Индостан, Индонезийский архипелаг и Австралию. В миоцене этот огромный континентальный блок в результате проседания отдельных его частей распадается на разобщенные острова и глыбы континентов. Около

6 миллионов лет назад на месте Средиземного моря была низменная суша, местами заболоченная или покрытая мелководными лагунами. В течение последующих нескольких миллионов лет она быстро опустилась, возникли современные глубоководные (до 4000 и более метров) котловины к западу и востоку от острова Сицилия.

Черного моря, так же как и Каспийского, миллион лет назад еще не существовало. Последующее обрушение коры создало здесь глубоководные бассейны (1000—2000 метров).

Такие геологически очень молодые образования — практически все глубоководные желоба Мирового океана. Они возникли в течение последних 1—2 миллионов лет. В последние 2 миллиона лет в океан добавилось около 1200 метров свободной воды. Эта вода не затопила континенты не потому, что последние поднимались, как это нередко приходится слышать и читать. На Земле нет таких сил, которые смогли бы выполнить эту гигантскую работу.

Избытки воды были приняты вновь образовавшимися Средиземным, Черным, Каспийским морями, углубившимися морями западной окраины Тихого океана и в значительной мере возникшими впадинами глубоководных же-

лобов, общая протяженность которых составила более 30 тысяч километров. Увеличившаяся в итоге емкость впадин Мирового океана поглотила эти избытки воды, и поэтому она не выплеснулась глобальной трансгрессией на материковую сушу.

Итак, анализ палеогеографических карт Мирового океана подтверждает данные графика $V [t]$ об имевшем место грандиозном опускании 2/3 площади поверхности планеты в последние 160 миллионов лет и позволяет проследить последовательность формирования современных океанических областей. Намечаются три этапа этого процесса. Первый — позднюрский - раннемеловой (165—105 миллионов лет назад) — характеризует начало океанизации. Второй — позднемеловой-палеогеновый (105—26 миллионов лет назад) — этап активной океанизации. И третий — неоген-четвертичный (26—0 миллионов лет) — кульминация и, как мы видели, финал процесса океанизации Земли.

В свете изложенного становится понятным различие в строении и динамике континентальных окраин Атлантического и Индийского океанов, с одной стороны, и Тихоокеанской — с другой. Окраина Тихого океана лишь в позднем кай-

Таблица 1

Скорости опускания дна океана

| Океаны | Средняя скорость опускания, мм/1000 лет | | | | $V_k V_b$ |
|-----------|---|-----------------|--------------------|---------------------|-----------|
| | Внутрен моря | Котловины V_k | Континент. окраина | Возвышенности V_b | |
| Атлантика | 275 | 173 | 84 | 55 | 3,2 |
| Индийский | 390 | 94 | — | 39 | 2,4 |
| Тихий | 170 | 112 | 100 | 54 | 2,1 |
| Мировой | 280 | 126 | — | 49 | 2,5 |

нозой оказалась вовлечена в интенсивный процесс океанизации, который продолжается здесь и в настоящее время. Атлантическая и Индоокеанская давно прошли этот этап. В бассейнах этих океанов фронт океанизации в плиоцен-четвертичное время проходит по срединным рифтовым хребтам и островным дугам. Желоба островных дуг представляют собой новейшие четвертичные образования и отражают новый, более глубокий уровень опускания дна океана.

Причины материковых оледенений

Нам осталось еще раз, но уже во всеоружии полученных знаний, взглянуть на последний этап жизни Земли и попытаться ответить на самые острые вопросы: какие изменения природной среды следует ожидать в ближайшем будущем и каково их возможное влияние на жизненные интересы современной цивилизации?

С полной ответственностью автор должен сказать, что сколько-нибудь обоснованного ответа на эти вопросы современная наука до сих пор не дала. Тем не менее в научной и научно-популярной литературе нет недостатка в различных предсказаниях о близком наступлении нового ледникового периода или, наоборот, быстром таянии полярных льдов из-за растущей концентрации атмосферной углекислоты, возникающей при сжигании топлива. Серьезно обсуждаются будущие (впрочем, как и прошлые) изменения климата вследствие блуждания материков, роста гор и т. д.

Иногда приходится читать и о другой крайности — о чрезвычай-

ной устойчивости современных природных условий и медленных изменениях их в будущем. Речь, конечно, не идет об антропогенном факторе, который в конечном счете поддается контролю. Мы говорим о независимости от деятельности человека изменений природной среды. Большинство авторов предпочитают вообще не затрагивать эту тему, полагая, что ни одна из существующих научных концепций о происхождении материков и океанов и, следовательно, путях и направлении эволюции лика Земли не дает сколько-нибудь обоснованного прогноза относительно ближайшей и отдаленной перспективы этого процесса. Ни в одном из учебников географии, геологии, природоведения мы не найдем ответа на этот вопрос.

Ситуация действительно представляется невероятной, но вполне объяснима, так как лишь в последние несколько лет сложились необходимые предпосылки для выяснения роли воды в геологической истории Земли.

Действительно, проблема воды никогда не рассматривалась как главная, определяющая в истории Земли. Основное внимание исследователей привлекали вопросы движения земной коры и строения ее верхних слоев. Теперь стало ясно, что ни эти, ни подобные им вопросы, как бы интересны и важны они ни были, не дают исчерпывающую картину эволюции.

Опираясь на найденную закономерность эндогенных поступлений свободной воды на поверхность Земли, рассмотрим историю последнего материкового оледенения.

Четвертичный период, в котором мы живем, представляет собой последнюю главу в почти пяти-

миллиардной истории Земли. Со времен Чарлза Лайеля (1839) его называют также плейстоценом, т.е. новейшим в переводе с греческого. Длительность плейстоцена определяется всего в 2 миллиона лет. Тем не менее этот самый короткий геологический период характеризуется по крайней мере тремя выдающимися событиями: максимальным развитием процесса океанизации, крупнейшим в истории Земли материковым оледенением и появлением человека.

Известно четыре наиболее крупных наступления ледников. Первое началось примерно 500 тысяч лет назад и с промежутками потепления длилось почти 150 тысяч лет. Затем, после сравнительно продолжительной стадии потепления, длившейся почти 50 тысяч лет, 200

тысяч лет назад наступило новое самое сильное похолодание, продолжавшееся с промежуточными отступлениями ледников около 130 тысяч лет. Последнее большое оледенение Европы и Северной Америки началось 75 тысяч лет назад. Следы его наиболее хорошо сохранились до наших дней. Около 10 тысяч лет назад ледники окончательно покинули сушу, оставшись лишь на гористых островах Арктики и Гренландии. Постепенно установились современные климатические условия.

В разных странах эти четыре цикла оледенения и межледниковый имеют различные названия. В приведенной ниже табл. 2 дана хронология описанных событий плейстоцена для СССР, Западной Европы и Северной Америки.

Таблица 2

Хронология событий плейстоцена

| Время, тыс лет | Названия крупнейших оледенений | | |
|--|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| | Западная Европа | Северная Америка | СССР |
| Голоцен (современная эпоха потепления) | | | |
| 10 75 | Вюрм | Висконсин | Валдайское |
| 125 250 | Рисс II Рисс I | Иллинойс | Московское Днепровское |
| 500 | Миндель | Канзас | Окское |

Сильнейшим из последних четырех оледенений плейстоцена было Днепровское. Льды его доходили до широты Северного Причерноморья, а в Западной Европе к Альпам и даже Пиренеям.

Сменившее его после продолжительной эпохи рис-вюрмского потепления новое Валдайское оледенение было уже менее обширным. В Европе льды покрывали

Скандинавию, север Англии, юг Прибалтики и северо-запад европейской территории СССР. Однако в Северной Америке эта фаза оледенения была более интенсивной. Льды покрывали более 60 процентов ее площади и доходили до субтропического пояса.

В Южном полушарии подобного оледенения на материках не было. Лишь сохранялся ледниковый пок-

ров на Антарктиде, возникшей еще 20 миллионов лет назад — в миocene.

Центры наземного оледенения Северного полушария тяготели к бассейну Атлантики. Наибольшую толщину, превышающую 2—3 километра, ледниковые покровы имели на шельфе Баренцева моря, в Скандинавии, в Гренландии, Канадском архипелаге и полуострове Лабрадор. По мере удаления от Атлантики мощность, объем и интенсивность наземного оледенения уменьшились. Большую часть Сибири и Дальнего Востока занимало подземное оледенение. Иными словами, как отмечал академик К. К. Марков, наземное оледенение достигало наибольшей интенсивности не там, где было особенно холодно, т. е. в Арктике, а там, где не очень низкие температуры допускали обилие снежных осадков. Интенсивность плейстоценового оледенения была обратно пропорциональна размерам материалов и, следовательно, континентальности их климата. На огромных пространствах суши Евразии суровые морозы и малое количество осадков из-за удаленности от моря исключают возможность образования мощного ледникового покрова, но в то же время здесь возникли благоприятные возможности для глубокого промерзания почвы и подстилающих горных пород. Поэтому здесь, в Зауралье, возникла обширная область вечной мерзлоты и не было мощных ледников. Более обширное оледенение Северной Америки обусловлено не только открытостью ее пространств влажным ветрам со стороны Атлантического океана, но и тропической влагой с юга, с Мексиканского залива.

Общий объем ледников в 1,5 ра-

за превышал объем льда современной Антарктиды и составлял 32 миллиона кубокилометров. Площадь же территории, покрытой ледниками, была в 3 раза больше площади антарктических ледников и составила 30 миллионов квадратных километров.

Из Мирового океана в период максимальных оледенений изымалось более 55 миллионов кубокилометров воды, что приводило к быстрому падению уровня до отметок — 125 метров. В результате обширные пространства шельфа становились на длительное время сушей.

В динамике последнего Валдайского оледенения, по данным советских исследователей Л. Р. Серебрянского и Я. М. Пуннинга, отмечаются две стадии — Бологовская и Вепсовская с максимумами распространения льдов 60 и 20 тысяч лет назад. Они разделены карюкюласким потеплением, происходившим в интервале 50—25 тысяч лет назад. Всего 10 тысяч лет назад стояли последние ледники в Европе и около 7—5 тысяч лет назад в Северной Америке. Начался современный этап потепления — голоцен. В результате таяния ледников уровень моря быстро поднялся на 125 метров, затопив обширные приморские низменности. Так возник шельф Мирового океана.

В настоящее время продолжается таяние льдов Гренландии и Антарктиды — до 250 кубических километров ежегодно, что дает прирост уровня на 0,7 миллиметра в год. Еще 5 тысяч лет назад уровень моря поднимался выше современного на 2—3 метра, затем в течение последующего тысячелетия он быстро упал, обнажив так называемую фландр-

скую террасу. Этот подъем уровня, видимо, был связан с деградацией последних ледников на Лабрадоре. Новое падение уровня 4 тысячи лет назад вызвало общее похолодание климата. В последнее тысячелетие уровень вновь стал неуклонно подниматься. В настоящее время этот процесс продолжается.

Климат Земли определяется тремя главными факторами: количеством солнечного тепла, получаемого земной поверхностью, соотношением площади суши и моря и состоянием прозрачности атмосферы.

Продолжительный период времени — с момента образования нашей планеты и до кембрия (580 миллионов лет назад), когда не было не только океанов, но и больших морей, на Земле господствовал суровый холодный климат. Преобладание суши над морем исключало всякую возможность ее увлажнения на больших площадях. Климат был сухой и резко континентальный. Обнаруженные в различных частях света древнейшие протерозойские ледниковые отложения, видимо, возникли по периферии тогдашних немногочисленных морей и главным образом в среднеширотной и приэкваториальной зоне. Ряд исследователей считают, что эти древнейшие оледенения происходили периодически и длились по 150 миллионов лет. Скорее всего такое утверждение обусловлено недостатком данных. Ледники могли образовываться лишь вблизи увлажненных зон немногочисленных морей. На большей же части территории Земли из-за отсутствия влаги преобладало подземное оледенение — вечная мерзлота. Именно такая

картина наблюдалась в период последнего Валдайского оледенения в Сибири. Поэтому здесь не осталось никаких следов того сурового периода. Скорее всего вплоть до начала фанерозоя на Земле преобладали условия, сходные с всеобщим постоянно действовавшим (общепланетарным) оледенением. Можно сказать, что на Земле господствовал общепланетарный ледниковый период. Жизнь, весьма примитивная, могла зародиться и развиваться подо льдом немногочисленных морей.

Новая эра, характеризующаяся бурным развитием преимущественно морских форм жизни, началась 580 миллионов лет назад в фанерозое с потепления климата, которое продолжалось почти 100 миллионов лет и прервалось новым оледенением в конце ордовика и силуре. Это похолодание снова сменилось девонским потеплением 400 миллионов лет назад. И, наконец, очередная ледниковая эпоха, начавшаяся 350 миллионов лет назад в карбоне почти на 100 миллионов лет охватила преимущественно Южное полушарие Земли. Поскольку в карбоне и перми происходит бурное развитие наземной растительности и появляются высшие позвоночные, находки которых известны почти на всех материках, эта последняя в палеозое крупная ледниковая эпоха не распространялась на Северное полушарие. Следы этого оледенения обнаруживаются на южных окраинах всех материков вокруг Антарктиды. Их распространение аналогично циркумполярному расположению плейстоценовых ледников вокруг Арктического бассейна. Это наводит на мысль, что

подобная ситуация была 300 миллионов лет назад в Южном полушарии. На месте большей части Антарктиды и вокруг нее располагался полярный морской бассейн, окруженный сушей. Главный центр оледенения располагается на южной половине Африки. Питание ледника происходило за счет теплых влажных ветров, дувших со стороны экватора в южном направлении, подобно плейстоценовой обстановке в Северной Америке, где меридиональный перенос тропической влаги со стороны Мексиканского залива в значительной мере обеспечил рост ледника и его движение на юг.

Сходство географии пермокарбонатового и плейстоценового материковых оледенений даст основание предположить, что в конце палеозоя соотношение площади суши и моря было во многом сходно с современным. Мелководные моря занимали большую часть площади Северного полушария, а в Южном преобладала суша, окаймлявшая небольшой морской бассейн в районе Антарктиды. Такое соотношение площади суши и моря, видимо, стало основной причиной пермокарбонатового оледенения Южного полушария. Большинство геологов для объяснения этого оледенения привлекают гипотезу дрейфа континентов, полагая, что 300 миллионов лет назад все южные материка были сдвинуты в один гигантский материк Гондвану. Затем они разъехались и растащили следы ледников во разным концам света. Упрощенность подобного объяснения вряд ли теперь вызовет у кого сомнение. Известный американский геолог А. Майерхофф убедительно показал, что в

условиях гигантской Гондваны господствовал бы сухой и холодный климат, при котором крупное материковое оледенение возникнуть не могло. Именно по такой же причине на большей части Сибири в плейстоцене не возникло материковых льдов. Отсутствие влаги привело здесь к развитию подземного оледенения — вечной мерзлоты, остатки которой наблюдаются до сих пор. Аналогичное объяснение природы палеозойского оледенения Южного полушария закономерно следует из представлений о постепенном накоплении воды на земной поверхности. Нельзя исключить предположения и о меньшей солнечной активности вплоть до карбона.

Юрский ледниковый период распространялся преимущественно на участки суши, которые, как мы уже говорили, впоследствии испытали погружение. Это скорее всего средне- и высокоширотные области нынешних срединно-океанических подводных хребтов.

Последнее, плейстоценовое оледенение пришлось на период высшей фазы океанизации при соотношении площади суши и моря, близком к современному.

Итак, мы видим, что на протяжении своей истории Земля пережила длительную фазу докембрийского общепланетарного «ледникового периода» и четыре фазы более ограниченных по площади региональных ледниковых периодов.

Существование первой общепланетарной фазы можно объяснить одной из двух разновеероятных причин. Подавляющим преобладанием площади суши над морем и отсюда суровыми климатическими условиями или меньшей в сравнении с современной

величиной солнечной постоянной. Солнце могло находиться в стадии звезды оранжевого класса вплоть до карбона. Отсутствие до этого времени на Земле развитой наземной растительности и животных и преобладание морских форм жизни не противоречат такому предположению.

Юрскому похолоданию предшествует общее увеличение площади суши в пределах современных континентальных блоков, видимо, обусловленное углублением существовавших морских бассейнов. Это, вероятно, и стало причиной возникновения оледенений на высокоширотной суше, располагавшейся в пределах современных океанов.

Наибольший интерес представляет выяснение причин возникновения последнего, плейстоценового оледенения в Северном полушарии.

Наиболее вероятной причиной считается поднятие суши и периодическое изменение солнечной радиации. Вероятность изменения солнечной постоянной в столь короткий промежуток времени следует отбросить как малореальную. Современные измерения ее с высотных самолетов и спутников показывают, что она периодически меняется в пределах 0,1—0,2 процента и коррелируется с числом солнечных пятен. Считается, что для возникновения ледниковых периодов необходимо уменьшение солнечной постоянной по крайней мере на 5 процентов.

В 1924 году югославский астроном М. Миланкович путем точных вычислений показал, что такое уменьшение солнечной радиации происходит на Земле периодически в зависимости от трех

факторов: изменения наклона земной оси к плоскости эклиптики, эксцентриситета земной орбиты и предварения равноденствий.

Колебание оси имеет период 40 тысяч лет, земной орбиты (удаление и приближение к Солнцу) — 90 тысяч лет, предварения равноденствий (прецессии орбиты) — 21 тысячу лет. Суммарная кривая изменения солнечной радиации для последних 500 тысяч лет, вычисленная по астрономическим данным, показала, что минимумы получаемого Землей солнечного тепла хорошо совпадают с главными фазами четырех оледенений плейстоцена. При этом продолжительность ледниковых периодов оказалась существенно меньше стадий межледниковий в 5—10 раз. В целом же периодичность климатических колебаний оказалась близка 40 тысячам лет, так как главным фактором, контролирующим количество солнечной радиации, является наклон земной оси.

Полученные результаты, казалось бы, решили проблему оледенений. Однако астрономический фактор Миланковича существовал и на протяжении всего кайнозоя, мела, других эр и периодов, но почему-то не приводил к материковым оледенениям. Значит, этот фактор не главный, не определяющий. Существование его еще недостаточно для возникновения оледенений, необходимы какие-то другие условия.

Было выдвинуто предположение, что таковыми должны быть вулканы. Из современных наблюдений известно, что после больших вулканических извержений температура на земном шаре вследствие замутненности атмос-

феры вулканической пылью понижается на 0,5—1 градус.

Однако и извержения, и солнечная активность происходили и раньше плейстоцена, но они также не приводили к оледенениям. Следовательно, и эти факторы не являются определяющими для глобального и устойчивого изменения климата.

Предположение в качестве возможной причины оледенений горбообразовательных движений также не проходит, так как в последние 500 тысяч лет и тем более 18 тысяч лет (Валдайское оледенение) никаких крупных горных областей в Северной Европе и Америке не возникло. Эти области на протяжении последних миллионов лет были наиболее тектонически устойчивыми на Земле.

Не проходит также предположение о подъеме континентов в плейстоцене, так как оно противоречит общей гравитационной организации земных оболочек, испытывающих, наоборот, нисходящие движения вслед за уменьшающимся объемом Земли.

По мнению академика К. К. Маркова, наступление ледникового периода возможно, если средняя температура на длительное время понизится на 0,6—1 градус. Подобное понижение температуры может произойти, если относительное поднятие материковой суши повсеместно составит 2—4 метра. Но это возможно лишь в случае общего падения уровня Мирового океана. Опускание уровня делает континенты как бы приподнятыми, климат более холодным. Но эта приподнятость возникает не благодаря «поднятию» материков, а вследствие падения уровня моря. И действительно,

наблюдения за изменениями приземной температуры и колебаниями морского уровня за последние 100 лет обнаруживают между ними тесную связь (рис. 5). Понижение уровня и, следовательно, осушение континентов ведут к общему похолоданию, повышение уровня, наоборот, к потеплению. Известно, что морской влажный климат более теплый. Значит, чем меньше на Земле воды и больше площадь суши, тем суровее климатические условия. С ростом относительных размеров океанов и уменьшением размеров суши происходило смягчение климата на Земле.

Сложившееся к середине плейстоцена (500 тысяч лет назад) соотношение площади суши и моря при небольшом и быстром падении уровня в сочетании с астрономическим фактором Миланковича и оживлением вулканизма вполне могло положить начало общему процессу оледенения в Северном полушарии. Здесь суша преобладает над морем. В Южном полушарии, наоборот, размеры суши уступают океану. Если бы на месте Антарктиды не было материка, то не существовало бы и ледяного континента. Океан сглаживает широтные контрасты температуры на Земле.

Что же могло стимулировать быстрое падение морского уровня? Очевидно, быстрое увеличение емкости океанских впадин, например, за счет тектонического проседания дна желобов, углубления дна Средиземноморья и т. д. Иными словами, главной причиной плейстоценовых оледенений явилась океанизация Земли.

В течение последних 3—5 тысяч лет уровень моря постоянно повышался, но при этом происхо-

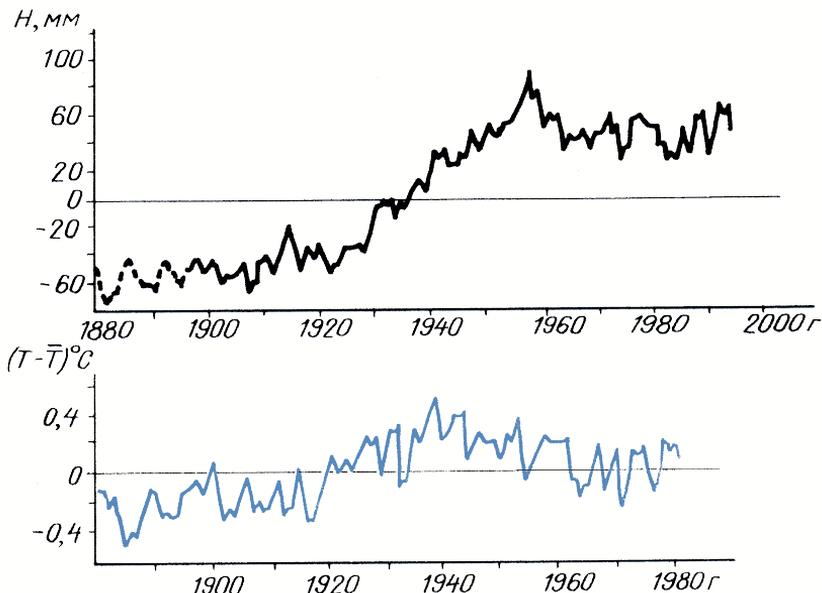


Рис. 5. Изменение уровня моря и приземной температуры за последние 100 лет

дили иногда быстрые падения его на 2—3 метра. Эти колебания — процесс, видимо, обычный и обусловлен тектонической активностью океанических областей. Поэтому вероятность совпадения момента падения уровня с астрономическими периодами понижения солнечной радиации, длительность которых значительно превышает период этих колебаний (10 тысяч лет), весьма высока.

Значит, оледенение может наступать тогда, когда Земля недополучает 5 процентов солнечного тепла при соответствующем положении на орбите и если одновременно этот дефицит радиации совпадает с быстрым падением уровня океана. Поскольку последнее сопровождается тектонической активностью и вулканизмом, то дефицит внешнего тепла может усугубиться замутненностью атмос-

феры продуктами вулканизма. Совместное действие этих трех факторов способно понизить среднегодовую температуру на 1—3 и даже больше градусов.

При существующем соотношении площади суши и моря проявление каждого из этих факторов по отдельности способно создать лишь аномальное потепление или похолодание на земном шаре, но к оледенению они не приведут. Такое похолодание наблюдалось, например, 3—4 тысячи лет назад во время так называемой фанагорийской регрессии, когда уровень моря упал до отметок — 2 метра. В середине последнего тысячелетия уровень моря еще раз падал до — 1 метра. Это сопровождалось значительным похолоданием в период с XI по XVII век, получившим название малой ледниковой эпохи.

Имеется много разнообразных свидетельств о сильном изменении климата в последнем тысячелетии. К ним относятся даты сбора урожая, зацветания различных растений, становления льда на озерах, сведения о ценах на различные сельскохозяйственные продукты и т. д. Наиболее важные из них — это фенологические наблюдения, проводимые систематически.

Начало нашего и конец минувшего тысячелетий были теплыми. Об этом есть много различных исторических свидетельств, например следы заселения, земледелия и скотоводства на Атлантическом побережье Гренландии. В XII веке викинги покинули эту Землю и терпели многочисленные бедствия также в Исландии. Самые холодные XV и XVI века совпадают с максимумом регрессии моря. В это время отмечается рост горного оледенения в Альпах. Интересно, что альпийские картины мастеров живописи средневековья изобилуют зимними пейзажами и низко сидящими над зелеными долинами ледниками. Это значит, что прохладное лето не растапливало их. Сегодня же ледники в Альпах лежат лишь на самых высоких вершинах. В Западной Европе морозы и снег начинались уже в ноябре. Замерзали даже прибрежные воды Северного моря и Балтика.

Начавшееся 100 лет назад потепление достигло кульминации в 40-х годах нашего столетия. Как видно из графика изменения уровня моря, оно сопровождалось его подъемом (см. рис. 5). Потепление отразилось на горных и материковых ледниках. Они начали сокращаться, и это сокращение продолжается в настоящее время,

достигая 250 кубических километров ежегодно. Но ни полной деградации ледников в период трансгрессий, ни наступления ледникового периода при регрессиях в последнее тысячелетие также не происходило. Недоставало астрономического фактора Миланковича, т. е. уменьшения количества солнечного тепла не происходило. Триада была неполной.

Возможен ли новый ледниковый период?

Расчеты советских исследователей показывают, что примерно через 11 тысяч лет Земля займет в очередной раз относительно Солнца такое положение, при котором ее поверхность будет получать примерно на 5 процентов меньше солнечного тепла, чем обычно.

Возникает вопрос: наступит ли при этом новый ледниковый период или с момента деградации Валдайского оледенения появились предпосылки, исключающие подобную угрозу?

Анализ обстановки плейстоцена убеждает нас в том, что возникшие в последние 500 тысяч лет четыре крупные эпохи оледенения в Северном полушарии были обусловлены сложившимся в итоге океанизации к этому времени характерным соотношением площади суши и моря. Сходная обстановка, видимо, была в Южном полушарии 300 миллионов лет назад при образовании пермкарбонатового оледенения. В то время водная оболочка была смещена в Северном полушарии, а в Южном преобладала суша. Более ранние — ордовикское и протерозойское — оледенения в равной степени могли быть вызваны преобладанием суши над морем либо меньшей солнечной

активностью (светило находилось в стадии оранжевого спектрального класса с температурой поверхности 5000 градусов).

При сохранении средних темпов поступления внутрпланетарной воды, установившихся в плейстоцене (0,6 миллиметра в год) через 10 тысяч лет уровень моря при отсутствии крупных изменений емкости впадин океанов поднимется на 6 метров. У нас нет никаких оснований ожидать, что начавшийся 60 миллионов лет назад процесс океанизации вдруг прекратится в это ничтожное с геологической точки зрения время. При сохранении общей тенденции подъема уровня моря сохранится и общая направленность изменения климата в сторону потепления. Значит, ледники будут продолжать таять. Если даже скорость таяния останется на современном уровне, т. е. 0,7 миллиметра в год, то суммарная величина подъема морского уровня составит через 10 тысяч лет 13 метров. В итоге площадь суши значительно сократится, а площадь морской поверхности увеличится примерно на 10 процентов. Контрасты климата будут в результате уменьшаться, что неизбежно ускорит таяние полярных льдов и общую скорость подъема уровня моря. Известно, что при полной деградации ледников Антарктиды и Гренландии уровень моря станет выше современного на 65 метров. Треть континентальной суши в этом случае окажется под водой. Таким образом, на фоне общего потепления климата незначительное уменьшение солнечной радиации, ожидаемое через 10 тысяч лет, уже не отразится на Северном полушарии в виде новых ледниковых покровов. Ледниковая ис-

тория плейстоцена может повториться лишь через 250—300 миллионов лет, когда высыхающие океаны вновь откроют покрытые илом континенты, образовав сходный с плейстоценовым баланс суши и моря.

Климат и ледовитость Арктического бассейна сегодня в значительной мере обусловлены объемом поступления теплых атлантических вод, переносимых течением Гольфстрим через широкий пролив между Исландией и Норвегией. Чем больше их вливается в Арктику, тем теплее климат Европы, особенно зимой, чем меньше — тем холоднее. Меандрируя по горизонтали и глубине, воды Гольфстрима будут больше или меньше смешиваться с холодными водами Атлантики, что может увеличить или уменьшить среднюю температуру водной массы течения.

Изучение морских осадков Северного Ледовитого океана показало, что еще 3 миллиона лет назад в этом океане не было льдов. Однако уже существовал ледниковый покров в Гренландии и в горах Аляски. Образование первых массивных ледниковых покровов в Северном полушарии начинается 700 тысяч лет назад. С тех пор ледовитость Северного океана сохранялась постоянно. Следовательно, 700 тысяч лет назад произошло какое-то геологическое событие, существенно изменившее климатическую обстановку арктического бассейна. В свете сказанного оно отражало крупную перестройку в режиме поступления теплых атлантических вод в Арктику.

Изучение морских осадков по обе стороны пролива между Исландией и Норвегией, проведен-

ное советскими и зарубежными исследователями, показало, что атлантическая микрофауна то свободно проникала в район Норвежского и Гренландского морей, то доступ ей туда перекрывался. Моменты прохождения фауны совпадают с потеплением климата и соответствуют периодам межледниковья. Отсутствие фауны коррелируется фазами похолодания и распространения материковых льдов.

По данным американского ученого Д. Эндрюса, начало последнего Валдайского (Вюрмского) оледенения плейстоцена действительно совпадает с отклонением к югу от Норвегии теплых вод Гольфстрима.

В настоящее время глубина пролива между Исландией и Фарерскими островами превышает 500 метров. Между Фарерскими и Шетландскими островами в узком желобе она достигает 1200 метров. Севернее и южнее пролива глубины увеличиваются до 2500—4000 метров. Таким образом, между Исландией и Фарерами располагается высокое подводное плато, получившее название Фареро-Исландский подводный порог. Судя по данным бурения с американского судна «Гломар Челленджер», после интенсивного палеогенового платобазальтового вулканизма порог испытал погружение, и в последние 5—10 миллионов лет здесь господствовал спокойный тектонический режим. Следовательно, связывать фазы межледниковья с погружением Фареро-Исландского порога на глубину нескольких сот метров в последние сотни и даже десятки тысяч лет (современное потепление началось всего 10 тысяч лет назад) мы, естественно, не

имеем никаких оснований. Это касается в еще большей мере глубоководного Фареро-Шетландского желоба. Детальные исследования донных осадков, выполненные автором на территории всей этой области, свидетельствуют о спокойном седиментационном режиме и в желобе, и на пороге в последние 500—700 тысяч лет. В осадках нет следов нарушений и размыва.

Итак, Фареро-Исландский порог, возникший в послепалеогеновое время, в плейстоцене не испытывал значительных погружений и тем более поднятий. Что же в таком случае могло послужить толчком к началу оледенения Арктического бассейна и последующим периодическим наступлениям и отступлениям материковых ледниковых покровов в Европе и Северной Америке?

Для этого нам надо вспомнить, что в последний миллион лет скорость поступления глубинной воды составляла 0,6 миллиметра в год. Следовательно, 700 тысяч лет назад уровень моря теоретически должен был на 420 метров быть ниже современного. Даже если эта цифра была наполовину меньше за счет поглощения части воды, увеличивающейся вследствие углубления отдельных участков дна океана емкостью его чаши, то и тогда проливы между Исландией и Гренландией и Гренландией и Норвегией были значительно мелководнее и уже. Во многих местах их располагались острова. Водообмен между Атлантикой и Арктикой осуществлялся в основном через узкий и глубокий Фареро-Шетландский желоб.

С другой стороны, если взглянуть на карту Северного Ледовитого океана, то можно увидеть,

что почти половину его площади занимают шельфы с глубинами менее 200—300 метров. Значит, 700 тысяч лет назад вследствие более низкого стояния уровня Мирового океана (во всяком случае, не менее 200—300 метров) бассейн Северного Ледовитого океана был более чем наполовину меньше современного. Он был соединен узким глубоким проливом между Фарерами и Шетландскими островами с Атлантикой.

Огромные массы теплой атлантической воды, вливавшейся в этот маленький океан через пролив, препятствовали его оледенению. Но перед проливом есть высокий хребет — подводный порог Уайвила-Томпсона. Можно предположить, что частичное поднятие этого хребта, происшедшее 700 тысяч лет назад, резко перекрыло доступ в Фареро-Шетландский желоб теплых атлантических вод. Тогда-то они и повернули к югу в первый раз. Это наряду с другими рассмотренными выше факторами и явилось первым толчком к резкому похолоданию в области Арктического бассейна, установлению ледовитости океана и появлению первых ледников в горах Европы и Северной Америки (эпоха Гюнца). Первые ледники занимали небольшие горные районы и поэтому не вышли на равнины Европы. Гигантский шельф арктической Евразии еще оставался сухой. Поэтому здесь господствовал резко континентальный климат с малым количеством осадков, чего было недостаточно для питания мощных ледниковых покровов.

Спустя 200 тысяч лет возникло, как мы видели, первое мощное материковое оледенение Северного полушария — Миндельское

(Окское). Но за этот период уровень моря поднялся на 120 метров. Теплая атлантическая вода, перехлестнув через порог Уайвила-Томпсона, вновь пошла в Арктику. Но ее, видимо, было еще недостаточно для восстановления теплого климата, однако вполне хватило для общего увлажнения региона и возрастания количества осадков в виде дождя и снега, поступающих теперь со стороны Северной Атлантики и Норвежско-Гренландского бассейна на прилегающие территории Европы и Северной Америки.

Исследования содержания тяжелых и легких изотопов кислорода (^{18}O и ^{16}O) в раковинах фораминифер, накапливающихся в морских осадках, показали, что периоды оледенения были гораздо длиннее межледниковий. В среднем продолжительность межледниковий составляла 10 тысяч лет, а оледенений — порядка 50—100 тысяч лет. Кроме того, отмечается медленное постепенное разрастание покровов льда до максимума и затем их быстрое таяние. Тем не менее последнее крупное Валдайское (Вюрмское) оледенение, как мы уже знаем, началось 25 тысяч лет назад, достигло максимума 18 тысяч лет назад и почти полностью исчезло 10 тысяч лет назад, т. е. длительность нарастания оледенения здесь оказалась равной времени его деградаций. Но, как говорится, нет правил без исключений.

Тенденция медленного и длительного накопления ледников и быстрой их деградации, видимо, обусловлена механизмом медленного подъема уровня моря за счет эндогенных поступлений воды и постепенным нарастанием объемов масс теплых атлантических

вод, проникающих в Арктику через пороги. Ведь уровень моря поднимается очень медленно. Начавшие таять льды усиливают скорость подъема уровня, и чем быстрее они тают, тем быстрее поднимается уровень, и тем большие массы теплой воды проникают через пороги в Арктику. Процесс приобретает лавинный характер. Потепление нарастает стремительно, поэтому материковые льды быстро деградируют. Наступает фаза межледниковья.

Но происходит новое быстрое углубление дна океана. Уровень стремительно падает на несколько метров. И если он совпадает с ритмом уменьшения солнечной радиации, то наступает общее похолодание. Формирующиеся льды быстро изымают огромные массы воды, что ускоряет и увеличивает амплитуду общего понижения уровня моря. Пропускная способность порогов для теплых атлантических вод уменьшается, и наступает очередная фаза ледникового периода.

Сегодня глубина подводных порогов между Исландией и Норвегией превышает 500 и 1200 метров (последняя цифра соответствует Фареро-Шетландскому желобу). Со времени начала последнего Валдайского оледенения прошло более 30 тысяч лет. В течение этого периода, в том числе и пока существовали ледники, уровень океана только за счет эндогенных вод поднялся на 18—20 метров, а после дегляциации материковых покровов еще на 125 метров, т. е. общий подъем уровня за последние 30 тысяч лет составил 145—150 метров.

Настолько, следовательно, стали глубже и пороги. Иными словами, никогда за всю историю

плейстоцена Фареро-Исландский порог и Фареро-Шетландский желоб не лежали на такой большой глубине и не пропускали так много теплой атлантической воды в Арктический бассейн, как в период голоцена, т. е. в последние 10 тысяч лет.

В приведенной схеме необходимо также иметь в виду, что из-за изъятия огромных масс воды на образование льдов Северный Ледовитый океан в периоды оледенений мог превращаться в ряд изолированных глубоководных бассейнов, уровень моря в которых мог падать на значительно более низкие отметки (до 300—500 метров), чем уровень Мирового океана. Обширные шельфы Сибири, Европы и Северной Америки были сушей.

При продолжающемся в настоящее время повышении уровня Мирового океана и таянии антарктических и гренландских ледников, как уже отмечалось, весьма высока вероятность их полной деградации. Тогда через 10 тысяч лет уровень океана поднимется на отметку порядка 65—70 метров. В этих условиях значительного затопления суши климат планеты станет более теплым и влажным, чем теперь. Следовательно, возможность наступления нового ледникового периода практически исключена.

Все известные теории материковых оледенений исходили из предположения о постоянстве морского уровня, все изменения которого были вызваны эвстатическим фактором, т. е. изъятием или обратным поступлением вод в ходе гляциации и дегляциации. Общая масса океанской воды в плейстоцене предполагалась неизменной.

Лишь с установлением явления океанизации, главным выражением которого явилось непрерывное возрастание уровня океана, все разнообразие факторов (оказавшихся необходимыми, но недостаточными) удалось свести в единую схему, объясняющую причины материковых оледенений не только плейстоцена, но и более ранних периодов истории Земли.

Вода на других планетах

Теперь нам понятно, что вода не дается планете изначально. Она появляется и исчезает на определенных этапах развития протопланетного вещества и при определенных условиях внутри планеты и на ее поверхности. Океанизация — это финал эволюции планеты, а ее длительность зависит от массы космического тела. В условиях Земли с массой около $6 \cdot 10^{27}$ граммов выработка воды из недр идет очень долго, более 4 миллиардов лет. Но океанизация происходит только в финале эволюции и охватывает небольшой промежуток времени — всего в 140—160 миллионов лет (см. рис. 3).

Следовательно, для длительного производства и удержания свободной воды необходимо выполнение двух необходимых условий — планетарной организации вещества с общей массой порядка земной и оптимальных температурных условий на поверхности, допускающих существование воды в жидкой фазе. В противном случае малая планета не сможет длительное время удерживать свою гидросферу, а также газообразную и достаточно плотную атмо-

сферу. Летучие ее компоненты быстро диссипируют в космос. Кратковременность же существования гидросферы резко ограничивает возможности возникновения и эволюции жизни. По этой причине на малых космических телах изначально отсутствуют необходимые и достаточные условия для образования воды. Значит, на поверхности астероидов, комет, метеоритов не может быть воды ни в свободной фазе, ни в виде льда.

Невероятность существования ледяных космических тел малой массы предопределена также быстрым испарением льда в условиях космического вакуума. Кометы же летают на протяжении десятков, сотен, тысяч и даже миллионов лет. Сохранение их ледяных ядер в таких условиях представляется необъяснимым.

Космические тела с массой более 10^{26} граммов — уже планеты. В их недрах благодаря огромному давлению и высокой температуре, возникают физико-химические реакции, могущие произвести некоторую дифференциацию протовещества и вынос свободной воды на поверхность.

Из всех планет наиболее благоприятные условия для образования гидросферы имелись на Луне — нашей ближайшей соседке и спутнице Земли.

За время своей непродолжительной активности Луна произвела около 10^{22} граммов воды и $2 \cdot 10^{21}$ граммов атмосферы. Вследствие малой массы Луны переработка протовещества на ней закончилась 3 миллиарда лет назад. По этой же причине Луна быстро утратила свою воду и атмосферу в результате фотоллиза. Вот почему на ней не успела возникнуть и развиваться биосфера.

Нам известно, что Луна образовалась почти одновременно с Землей. Примитивные формы жизни появились на Земле лишь 3,5—3,9 миллиарда лет назад. В это время уже происходило затухание внутренней активности Луны. Поэтому нельзя исключить возможные находки простейших организмов в лунных морских осадочных породах и скорее всего на обратной ее стороне, где отсутствуют грандиозные лавовые равнины. Последние возникли на обращенной к Земле стороне в результате бомбардировки ее 3,0—3,5 миллиарда лет назад крупными метеоритами, пробившими тонкую лунную кору и открывшими выход расплавленной базальтовой магме, которая могла захоронить древние биогенные отложения.

Меркурий расположен ближе всех других планет к Солнцу. Поэтому температура на его освещенной поверхности достигает +510 градусов, а на теневой —185 градусов. Вода, выносимая вулканизмом, мгновенно испарялась, не переходя в жидкую фазу. В связи с этим можно уверенно говорить, что на Меркурии ни гидросферы, ни биосферы никогда не было.

Наибольший интерес для нас представляет Венера. Она имеет почти такие же размеры и массу, как и Земля, но ближе расположена к Солнцу. В связи с этим ее поверхность буквально выжигается солнечными лучами (солнечная постоянная равна 3,6 кал/см² в мин, на Земле — 1,9 кал/см² в мин). За время своей внутренней активности Венера выработала около $4 \cdot 10^{21}$ граммов свободной воды, т. е. почти столько же, сколько и Земля. Однако

из-за высокой температуры на поверхности эта вода, минуя жидкую фазу, сразу же испарялась в атмосферу, откуда в дальнейшем в результате фотолиза диссипировала в космос. В настоящее время огромные массы венерианской атмосферы содержат столько паров воды, что ее было бы достаточно для образования на ее поверхности Мирового океана, подобного земному.

Поэтому сегодня ни воды, ни биосферы на Венере нет. Была ли на ней вода в прошлом? Этот вопрос остается открытым. Дело в том, что если солнечная постоянная в прошлом была меньше современной, то на Венере длительное время могли существовать условия, благоприятные для сохранения воды и, следовательно, жизни. Если вспомнить, что активное развитие флоры и фауны в условиях Земли началось лишь с карбона (320 миллионов лет назад), а предшествовавшие 3 миллиарда лет биосфера развивалась преимущественно под защитой воды и льда, то в докарбонное или более раннее время условия обитания на Венере были лучше земных. Она располагается ближе к Солнцу и, следовательно, получала больше тепла, когда светило пребывало в стадии оранжевого спектрального класса с температурой поверхности около 5000 градусов.

Следовательно, на Венере было достаточно времени для полной эволюции ее протовещества и развития органической жизни. 320 миллионов лет назад на Земле возникли гигантские тропические леса, давшие позднее пищу огромным травоядным ящерам. Аналогичные условия вполне могли сложиться и на Венере, и к началу

карбонатового периода здесь могли существовать флора и фауна, подобная земной. В конце карбона многочисленные морские бассейны покрывали венерианскую поверхность.

Трагическая судьба планеты началась, когда светило из стадии оранжевого спектрального класса стало превращаться в желтую звезду с температурой поверхности 6000 градусов. Горячие солнечные лучи быстро высушили венерианские моря и испепелили все живое. Вода перешла в газообразное состояние и вместе с углекислотой и азотом окутала планету непроницаемым мощным слоем. Возник парниковый эффект, который повысил температуру и без того раскаленной поверхности планеты. По данным советских космических аппаратов типа «Венера», которые опустились на поверхность планеты, измеренная температура оказалась действительно испепеляющей: +475 градусов.

Будущие космические исследования этой планеты должны быть направлены на поиски гранитно-метаморфической коры, которая должна содержать остатки органической жизни, если таковая действительно была. Обнаружение таких пород позволит решить фундаментальную проблему действительного изменения солнечной постоянной в последние сотни миллионов лет. Появится также возможность на примере Солнца определить характерное время жизни различных классов звезд и тем самым существенно скорректировать наши представления о Вселенной.

По сравнению с Землей Марс имеет массу почти в 10 раз меньшую. Этого тем не менее до-

статочно для возникновения в его недрах длительной активности и дифференциации протопланеты. Однако вследствие относительно малой массы эта активность угасла примерно 1,5 миллиарда лет назад.

Марс за время своей активности произвел примерно 0,075 Мирового океана свободной воды. Однако космические исследования показывают, что жидкой воды на его поверхности в настоящее время нет. Вода на Марсе находится в небольших количествах в виде снега на полярных шапках и в виде пара в очень разреженной атмосфере. Марс в 1,5 раза дальше отстоит от Солнца и получает значительно меньше тепла, чем Земля. Температура на большей части его дневной поверхности не превышает —5—15 градусов. Лишь на экваторе полуденная температура достигает +10 градусов. На полюсах она падает до —120 градусов. Таким образом, лишь в узкой приэкваториальной полосе на несколько часов в день появляются условия для существования жидкой воды на марсианской поверхности. На большей части остальной поверхности планеты таких условий нет. Там царит вечный холод. Из-за большой разреженности марсианской атмосферы жидкая вода не может долго существовать. Она быстро выкипает, превращаясь в пар. Ввиду малой массы Марс не может также долго удерживать мощную атмосферу. Все это позволяет заключить, что и на Марсе отсутствуют благоприятные условия для формирования и длительного удержания жидкой воды на поверхности. Следовательно, нет здесь необходимых условий и для развития сколько-нибудь суще-

ственной биосферы, которая смогла бы повлиять на газообразный состав атмосферы. Простейшие формы органической жизни здесь следует искать в зоне длительного существования свободной воды, т. е. в приэкваториальной области планеты и в подповерхностных резервуарах.

Что же касается других, более отдаленных планет: Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна и их спутников, то из-за очень малого количества солнечного тепла, получаемого их поверхностями, возможность формирования на них мощной гидросферы (кроме ледяных покровов) практически исключена. Следовательно, нет там и развитых форм жизни.

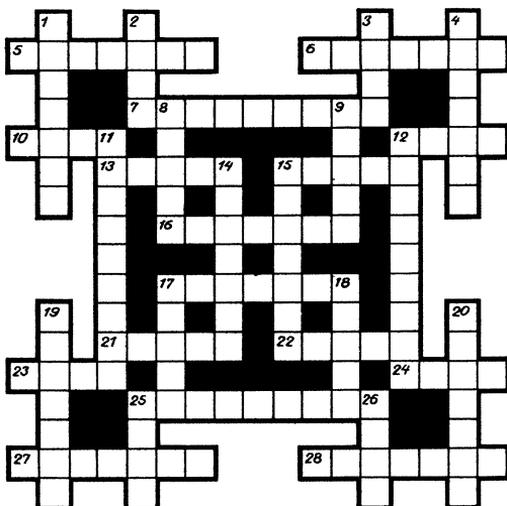
Из приведенного ясно, что наша Земля находится в уникальных условиях среди других планет Солнечной системы. Эти условия в полной мере не соблюдаются больше нигде. Лишь только Венера до каменноугольного периода, возможно, имела благоприятные для зарождения и развития воды и жизни условия. Но с развитием Солнца в звезду желтого спектрального класса и она пережила трагедию гибели своей биосферы и воды.

Заключение

Живописные земные ландшафты, наполненные водой и жизнью и окутанные насыщенной кислородом атмосферой, — все это,

как мы теперь понимаем, продукт распада и эволюции первичного планетного вещества в недрах Земли. Долгий путь и многие преобразования испытала первичная космическая пыль, чтобы в теплых лучах Солнца превратиться сначала в воду, а затем и в жизнь.

Человеческая жизнь в масштабе жизни планеты занимает весьма незначительный отрезок времени. История общества, история геологического развития живого и неживого вещества существенно раздвигают этот интервал, восстанавливая далекое прошлое земной жизни. Но не менее важно и интересно продлить этот интервал на грядущие тысячи и миллионы лет, увидеть, что ждет будущие цивилизации на Земле, какие проблемы им придется решать для выживания в быстроменяющейся природной обстановке. Мы убедились, что мир Земли еще способен изменяться по собственным законам. Уже сегодня встает проблема объединения всех сил и средств цивилизации для защиты от наступающего океана. Многие страны уже ведут эту борьбу. Разрозненными клочками островов и континентов лежит земная суша в окружении безбрежного океана и уже сегодня составляет лишь треть поверхности планеты. Мы живем в эпоху океанизации, и не считаться с разнообразными проявлениями этого процесса в жизни Земли сегодня уже нельзя.



Кроссворд

По горизонтали. 5. Остров в Аральском море. 6. Климатический курорт в Башкирской АССР. 7. Млекопитающее отряда грызунов. 10. Смесь дыма, тумана и пыли, возникающая в атмосфере промышленных городов. 12. Длинная повозка. 13. Пешеходная улица в Москве. 15. Сосуд для газированных напитков. 16. Один из островов Токара в Японии. 17. Районный центр в Кызыл-Ординской области. 21. Город и порт в Финляндии. 22. Составная часть физической культуры. 23. Водоплавающая птица. 24. Советский кинорежиссер. 25. Орошение земель. 27. Специальность ученого. 28. Катушка самоиндукции.

По вертикали. 1. Основа пластмасс, химических волокон. 2. Неглубокая пещера. 3. Место для отдыха и прогулок. 4. Вид общественного транспорта. 8. Сухие русла, мертвые долины в пустынях Средней Азии. 9. Советский физик, академик, Герой Социалистического Труда. 11. Звездная система. 12. Прибор для измерения скорости ветра. 14. Виртуозная музыкальная пьеса. 15. Цветное непрозрачное стекло для изготовления мозаик. 17. Симфоническая сюита Н. Римского-Корсакова. 18. Чертеж участка местности. 19. Спутник планеты Уран. 20. Персонаж древнегреческой мифологии. 25. Жилище эскимосов. 26. Полуостров на севере Западной Сибири.

Ответы на кроссворд, опубликованный в № 12

По горизонтали. 1. Нототрема. 5. «Дачники». 7. Ганимед. 8. Апогей. 9. Эскорт. 11. Адана. 14. Амнион. 15. Ниобий. 16. Околия. 18. Ржанка. 21. Стека. 23. Кредит. 24. Нихром. 25. Анадырь. 26. Одинцов. 27. Одоевский.

По вертикали. 1. Нансен. 2. Ачинск. 3. Мадонна. 4. Мезозой. 6. Исуден. 7. Ганнон. 8. Адирондак. 10. Таксодим. 12. Силли. 13. Новак. 16. Олдерни. 17. Янтарь. 18. Рококо. 19. Аларкон. 20. Циндао. 22. Сидней.

Редакция брошюр серии «Науки о Земле» предполагает в 1990 году опубликовать серию статей доктора химических наук, лауреата Государственной премии СССР Ф. К. Величко, посвященных ювелирным камням, принципам их подбора, истории и легендам, с ними связанным, включая так называемые магические свойства.

Не все в предлагаемом материале бесспорно; ссылки на астрологию не должны беспокоить читателя, ведь это все — определенный слой человеческой культуры, с которым мало кто у нас знаком и который, несомненно, предвстает интерес для читателя, хотя бы с точки зрения расширения своего кругозора в области, где граница между наукой и паранаукой намечена лишь пунктиром.

Ф. К. ВЕЛИЧКО

Человек и камень

[Опыт нетрадиционного подхода]

И в небе, и в земле сокрыто больше, чем снится вашей мудрости, Горацио.

Гамлет, принц Датский

Бросая в воду камешки, смотри на круги, ими образуемые; иначе такое бросание будет пустою забавою.

Козьма Прутков. Мысль № 156

Человечество взялось за камень, едва поднявшись с четверенек. Камень служил человеку орудием труда, защиты и нападения, но также и средством познания. Обработывая камень, человек развивал свой мозг. Когда человек стал способен воспринимать красоту, он обратил внимание на разноцветные минералы; особенно его поражала правильность форм и игра света в кристаллах драгоценных камней. Древний человек был анимистом, все вокруг себя — землю, небо, камни — он воспринимал как живые существа. Такие красивые, такие совершенные драгоценные камни казались ему существами

высшего порядка, способными изменить его судьбу. Люди стали присматриваться к связям человек — камень («помог» — «не помог»). Случайные связи и совпадения ушли через фильтр многих веков в небытие. На фильтре человеческого опыта остались связи воспроизводившиеся, значимые. Они-то и отложились в человеческой памяти.

Шли века, первобытное единство человека и природы (живой в «живом») стало разрушаться — развилась наука. Ученый, подобно пушкинскому Науке-ри, природу «умертвив», «разъял как труп» и «поверил алгеброй гармонию». Немецкий физик В. Фойгт (1850—1919) так охарактеризовал этот метод в приложении к кристаллам: «Физика интересуется не кристаллический индивид с его красивой и своеобразной одеждой закономерно распределенных граней, ребер, углов, а кристаллическое вещество, которое он исследует. Он начинает свою работу с того, что безжалостно сдирает с вещества его одежду, разрезая кристалл на препараты, кажущиеся ему наиболее пригодными для обнаружения в чистом виде свойств кристаллического вещества». Багаж накопленных человечеством сведений подвергся разделению на «факты» (то, что ученые сумели проверить) и на «досужие вымыслы», «суеверия» (то, что прямой проверке не поддавалось). Со временем кое-что из «суеверий» пришлось перенести в «факты». Например, представление о том, что камни могут падать с неба.

Рациональный XIX век все разложил по полочкам, скрепил прочными цепями причинно-следственных связей, сцементировал замечательными по своей законченности уравнениями фундаментальных законов природы, воздвиг прочную стену между «живым» и «не живым» и построил на вид нерушимую башню из того, что «может быть», отбросив на свалку все, что «не может быть никогда». На эту свалку попали и лозоходство (способность человека на расстоянии чувствовать минералы) и все другие связи человек — камень. Первую брешь в этом построении пробило открытие микромира элементарных частиц, затем последовали

мощные удары теории относительно, исследований тайн человеческого подсознания, наконец, в середине XX века — теории информации и концепции открытых неравновесных самоорганизующихся систем. Великолепная постройка XIX века рухнула. Осталась одна стена — между «живым» и «не живым», между человеком и камнем.

Посмотрим, так ли уж она непреодолима? Сравним кристалл с организмом. Главное отличие состоит в том, каким образом «держат» свою форму кристалл и организм. Равновесие в кристалле — статическое, а в живом организме — динамическое. Может быть, поэтому и развилась в природе пятилучевая симметрия (морская звезда, строение некоторых вирусов и белков), «запрещенная» в кристаллах. По мнению советского кристаллографа и геохимика академика Н. В. Белова (1891—1982), «кристаллографический запрет пятерной оси определяется невозможностью согласования ее (равно как и осей порядка выше шести) с решеткой, с «решетчатым состоянием» кристаллического вещества. И потому можно думать, что пятерная ось симметрии является у мелких организмов своеобразным инструментом борьбы за существование, страховкой против окаменения, против кристаллизации, первым шагом которой была бы «помилка» решеткой живого организма».

Тем не менее поскольку и кристалл, и организм принадлежат к классу самоорганизующихся систем, между ними довольно много сходства. Живой организм реагирует на факторы внешней среды. Кристалл тоже реагирует. При надавливании кристаллов борнита, турмалина, топаза, кварца возникает пьезоэффект (заряды на поверхности), проявляются «фигуры давления» (пьезооптический эффект). Кристаллы чувствительны к изменению температуры. Если нагреть кристалл турмалина — на его поверхности появляются электрические заряды с разностью потенциалов до 1,2 киловольта (пирозлектрический эффект). Чувствительность кристалла турмалина очень высока: он регистрирует колебания температуры до 10^{-9} градусов. Если наэ-

лектризовать кристалл, его температура изменится (электрокалорический эффект). Пирозлектрический и электрокалорический эффекты взаимно обратимы, подобно тому как обратимы реакции организма.

Кристаллы способны «простужаться» и «болеть». Возьмем «оловянную чуму». Кристаллическая модификация олова устойчива лишь при температуре выше +13,2 градуса. При более низкой температуре олово способно «простудиться» и рассыпаться в аморфную модификацию. Трагедия экспедиции Роберта Скотта к Южному полюсу в 1906 году имела одной из причин то обстоятельство, что на морозе оловянные бидоны с запасом горючего разрушились. Устойчивость организма к заболеваниям можно повысить активацией иммунной системы, в частности введением в пищу добавочного количества некоторых микроэлементов (меди, цинка). Аналог иммунитета есть и у кристаллов. Ничтожная добавка висмута к олову надежно предотвращает «оловянную чуму». Организм реагирует на внешние воздействия сложным образом. Анизотропный кристалл тоже способен комплексно отзываться на приложенную к нему силу: при сжатии он сдвигается в сторону, при перемещении он еще и растягивается. Организм поглощает энергию извне и трансформирует ее. Аналогичные свойства имеются и у некоторых кристаллов. Турмалин непосредственно преобразует тепловую энергию в электрическую. Рубин способен поглощать электромагнитные колебания (радиоволны и свет), превращая их в когерентные пучки излучения (в случае радиоволн он работает как мазер — квантовый усилитель радиоволн, в случае света — как источник лазерного луча). Это своеобразный метаболизм энергии на уровне кристалла.

Казалось бы, о существовании в минералах аналога такого сложного человеческого комплекса, как память, и речи быть не может. Но... кристаллы бромистого серебра в фотографической эмульсии «помнят» запечатленную на них картину многие годы и вы-

дают ее при проявлении в виде фотографии. Нитинол (сплав титана с 45 процентами никеля) «помнит» свою исходную форму. Изделия из него после пластической (казалось бы, необратимой) деформации при нагревании восстанавливают свою первоначальную форму. Это свойство нитинола широко используется в автоматических реле противопожарных устройств и в антеннах космических кораблей. Наиболее поразительное свойство «памяти» открыто недавно группой французских биологов во главе с Ж. Бенвенистом у жидкого минерала — воды. Исследуя действие аллергенов на один из элементов крови — базофилы, — они нашли, что вода, после того как из нее был удален аллерген, продолжала действовать на базофилы, как будто он еще был в ней! Сомневаться в чистоте эксперимента не приходится: разбавление было доведено до $1:10^{120}$ — такими числами не оперирует даже космогония. Вспомним, что 1 грамм-моль вещества содержит всего $6,06 \cdot 10^{23}$ молекул. Исследователями получен молекулярный эффект... без единой молекулы его носителя. Вода каким-то образом запомнила его. Невероятность этого строго установленного факта образно отразил сам автор открытия Ж. Бенвенист: «Приведенный опыт можно сравнить с тем, как если бы мы, поболтав ключом от автомобиля в Сене под Новым мостом в Париже, попытались бы потом завести этот, не какой-нибудь другой, а именно этот самый автомобиль, набрав для этого несколько капель воды из Сены в Гавре».

Обратимся теперь к кристаллическим веществам. Гомеопатия со своими бесконечными растираниями активных веществ с сахаром делает то же самое. В гомеопатическом снадобье нет ни одной молекулы активного начала, эффект его — есть. Следовательно, и кристалл способен запомнить такую тонкую и сложную вещь, как структура контактировавшего с ним вещества.

Существует в мире кристаллов и аналог совместимости характеров — эпитаксия. Кристаллы с однотипной ре-

шеткой могут расти друг на друге. Так, алюмокалиевые квасцы растут на хромовых, а хлористый натрий нарастает на хлористом калии.

Организм часто сравнивают со сложным оркестром. А вот как характеризует кристалл специалист в этой области М. Т. Шаскольская: «Не унылая монотонность, а разнообразие многих свойств и их сочетаний, совсем как музыка оркестра — вот что, дает кристалл».

Все приведенные примеры прорубают лишь окошки в стене между живым и не живым, не разрушая ее: в камне мы находим статические аналоги динамических явлений в организме.

Динамические явления (процессы, а не состояния) присущи, однако, и кристаллам. Подобно живому организму, кристалл способен к росту, «питанию» и самовоспроизведению. Техника роста кристалла похожа на технику воспроизведения дезоксирибонуклеиновой кислоты в живой клетке (самодостраивающаяся спираль, сборка белков на ступеньках этой винтовой лестницы). Как показали почти одновременно и независимо друг от друга советский кристаллограф Г. Г. Леммлейн (1901—1963) и английский кристаллограф Ф. Франк, кристалл растет из раствора тоже по спирали, как бы накручиваясь сам на себя, продвигая вперед и выше одну и ту же ступеньку, наращивая число оборотов в спирали. Граница между кристаллом и клеткой пролегает здесь на том, что в кристалле рост и самосборка носят количественный характер, а в живой клетке — качественный, тем не менее аналогия налицо.

Все вышесказанное указывает на то, что природа, «нащупав» определенные механизмы в низшей самоорганизующейся системе — кристалле, «использовала» их и при конструировании саморегулирующейся системы более высокого уровня — живого организма. Теория самоорганизующихся систем утверждает, что две системы, имеющие некоторые общие принципы построения, способны взаимодействовать друг с другом. Следовательно

но, теоретически человек и кристалл способны взаимодействовать друг с другом.

Как и в живом организме на клеточном уровне, в кристалле возникают и в подходящих условиях развиваются микродефекты — дислокации и точечные дефекты. И вот здесь-то, на основе одной из самых удивительных аналогий между кристаллом и организмом и возникает физическая возможность их взаимодействия. Процессы возникновения и исчезновения микродефектов в кристалле так же динамичны, как и в живой системе. Камень, несмотря на внешнюю инертность, неподвижность, как бы живет своей внутренней жизнью. Точечные дефекты (сбитые со своих мест электроны и атомы в кристаллической решетке) и дислокации (местные искажения структуры) не остаются на одном месте; они перемещаются, иногда даже очень быстро, «бегом», встречаются друг с другом, вступают во взаимодействие, чутко реагируют на внешние воздействия: **кристалл непрерывно взаимодействует с окружающей средой**. При этом могут возникать колебания разного рода, излучения (тот же лазер на рубине) — **кристалл непрерывно посылает информацию во внешнюю среду**. Стена между человеком и камнем оказывается прозрачной, допускающей обмен информацией. Есть ли какие-нибудь объективные признаки наличия информационного обмена между человеком и камнем? Есть! На это указывает существование такого пока еще недостаточно исследованного явления, как биолокация (радиозестезия, лозоходство). Тренированный человек способен с помощью несложного приспособления (вдобавок совершенно непонятно как работающего) — рогульки, согнутой спицы, рамки — обнаруживать минералы, руды, залегающие под землей. Специалисты утверждают, что у 90 процентов всех людей в той или иной мере имеются биолокационные способности, и развить их — дело тренировки. Часть ученых (правда, пока очень небольшая) полагает, что основным носителем информации яв-

ляются микролептонные структуры (построенные из микрочастиц, значительно легче электрона, что-то вроде нейтрино). Эти структуры как бы повторяют структуру своего носителя и как облаком окружают каждое тело, в том числе и тело человека. Так почему бы не допустить взаимодействия информационных потоков человека и камня, особенно если «биоритмы» того и другого от долгого контакта согласовались, «притерлись» друг к другу?

* * *

Это затянувшееся предисловие имело целью навести читателя на мысль, что ювелирные камни — не просто украшения, что они могут воздействовать на своего владельца — благотворно или наоборот, в зависимости от того, гармонируют или диссоннируют «биоритмы» камня с биоритмами человека. Но чтобы проверить это предположение, нужно знать «магические» свойства камней. А откуда их взять, ведь естественные науки этой проблемой не занимались?

Как и во многих других случаях, здесь может помочь астрология с ее более чем тысячелетним «банком данных». Астролог сродни Плюшкину: он собирает все, все связи, раскладывает их по полкам своей интеллектуальной кладовки — авось, пригодятся. Астрологическая минералогия устанавливает соответствие между камнем и зодиакальным характером человека, его зодиакальным солнечным знаком. Вот мы к ней и обратимся, посмотрим, что за «суверия» и «злаблуждения» хранятся на ее полках. И хотя разные астрологические системы предлагают иногда довольно сильно расходящиеся друг с другом наборы «зодиакальных» камней, в одном все астрологи едины: между камнем и его носителем устанавливается связь, которую можно использовать на благо человека.

Не будем воспринимать приведенные далее сведения как истину в последней инстанции, но... бросая камни, присмотримся к кругам на воде!

Зодиакальные камни января

В январе пересекаются два зодиакальных характера: вторая и третья декады Козерога (1—10 и 11—20) и первая декада Водолея (21—31).

Козерог второй декады (родившиеся 1—10 января) упорен до неустойчивости, обладает неисчерпаемыми способностями совершенствоваться и если не теряет мужества в минуты пессимизма — достигает своей цели. Наиболее подходит ему темно-синий или черный звездчатый сапфир. Гармонизируют также и общие камни знака Козерога — темно-серый, темно-зеленые до черного — полосатый агат, темный халцедон, сардоникс, меланит (черный андрадит), нефрит. Противопоказаны все белые непрозрачные камни. **Козерог третьей декады** (родившиеся 11—20 января) отличается универсальным умом, одновременно научным, широким и философским. Хороший психолог, но довольно едкий критик. Ему рекомендуется тигровый глаз. Подходит также альмандин и темный аметист. Не противопоказаны гранат, лунный камень. Ему не следует носить рубин и опал.

Водолей первой декады (рожденные 21—31 января) — изобретательный до гениальности тип, прирожденный гуманист, часто — альтруист. У него художественные и артистические задатки, а недостаток — излишняя холодность. Ему рекомендуются камни «потеплее», «душевнее», в первую очередь бирюза, сине-зеленый аквамарин, светло-желтый янтарь. Противопоказаны рубин, яшма, гиацинт, сардоникс.

А теперь подробнее о магических свойствах упомянутых камней.

Сапфир — прозрачный корунд, окрашенный примесями соединений железа и титана. Имеет очень много разновидностей. Уральские сапфиры — серо-синие, а сапфиры Хибин — зеленоватого оттенка при густой темно-синей окраске. Некоторые сапфиры двухцветны: вдоль кристалла темно-синие, а поперек — зеленые.

В качестве талисмана* способствует духовному развитию. Сообщает сосредоточенность и чистоту души в часы медитации. Укрепляет верность, целомудрие, охлаждает излишнюю страсть. Принесит душевный комфорт. Повышает решительность, храбрость. Притягивает друзей и отталкивает врагов. Для полноценного его действия от владельца требуется доброта. Опасен своими дефектами: трещинами, пятнами, оболочками, лишает владельца радостей и веселого общения.

Как амулет защищает от вероломства и страха, хранит от оговора, сердечных заболеваний и ядов, очищает кровь. В индийской литотерапии используется при эпилепсии, экземе и болезнях матки.

Тигровый глаз — кварц с волокнистыми включениями гидроокиси железа и тончайшими трубчатыми пустотами, что придает ему коричневый, бурый и золотисто-желтый цвет с шелковистым блеском. При прокаливании приобретает эффектный красный цвет. Тигровым глазом называют желто-коричневый слоистый халцедон с радиально-лучистыми включениями и переливчатостью светлых и темных полос.

В роли талисмана усиливает способность к сосредоточению, укрепляет здравый смысл, стимулирует педагогические способности. Своевременно направляет владельца на существенные дела. Женщине помогает стать хорошей хозяйкой.

Как амулет оберегает от коварства конкурентов и от мук необоснованной ревности.

Бирюза — гидрат двойной соли фосфата алюминия и гидроксида меди небесно-голубого цвета и зеленого с голубым, яблочным и сероватым оттенком. Вариация цвета сильно зависит от степени обводненности камня. Под действием органических соединений, особенно спиртов, масел, кислот,

* Талисман — усиливает способности человека и притягивает положительные влияния. Амулет — оберегает человека от нежелательных воздействий.

косметики, способна изменить цвет в зеленый и даже буро-черный или обесцветиться. Это «мертвая» бирюза, не обладающая никакими магическими свойствами. Бирюза — универсально благотворный камень и не имеет противопоказания к ношению ни одним характером Зодиака. Единственно, что на руках злых, недоброжелательных людей быстро портится.

В роли талисмана усиливает интуицию, зовет к независимости, придает честолюбие, храбрость, предусмотрительность, пронцательность и постоянство. Приносит счастье, мир в семье, отводит гнев сильных мира сего, все это — людям, соблюдающим нравственные заповеди. Обращает внимание мужчин на женские достоинства.

В роли амулета, особенно на шее, умеряет менструальные кровотечения, облегчает страдания больных желтухой, помогает при родах. В экологически загрязненных местностях и перед грозящей опасностью стареет на глазах — от белесого к голубому и от синего к зеленому цвету. Зеленая бирюза — мертвая.

Агат — слоистый халцедон, скрытокристаллическая разновидность кварца. Очень разнообразен по внешнему виду. Как талисман придает мужество, спокойствие, способствует долголетию, развивает тонкость чувств, притягивает успех. Черный агат дает власть над силами ада. Слоистый придает мужчинам очарование в глазах женщин.

Как амулет слоистый агат ослабляет боль, обостряет слух, врачует болезни желудка.

Аметист — кварц, окрашенный

железом в фиолетовый цвет разной густоты, вплоть до чуть заметного. Под долгим воздействием солнечного света темный аметист может побледнеть. Как талисман придает благоразумие, бодрость, обдуманную храбрость. Способствует медитации, помогает душе создавать непреходящие ценности, приносит славу в искусствах (при наличии у человека хотя бы небольшого таланта). Укрепляет социальное положение.

Как амулет оберегает от пьянства и наркомании, сохраняет память, отгоняет дурные мысли, а под подушкой — насыщает счастливые сны. Укрепляет зрение, регулирует пищеварение, предохраняет от заболеваний почек. Этот камень избегают змеи и всякие гады (в том числе и в людском обличье).

Аквамарин — разновидность берилла светлых зеленовато-голубых тонов, окраска четко проступает только на чистом синем или голубом фоне. Окраска вызвана примесью железа. На солнце может выцветать. Его легко спутать с бледным сапфиром или топазом. Его признак — двухцветность в различном направлении рассматривания. Как талисман развивает смелость, поддерживает единство супругов. Предупреждает владельца потемнением и уменьшением прозрачности о направленных против него кознях.

Как амулет охлаждает пыл сор и страстей, хранит супружеский союз, облегчает зубную боль и боль в желудке и печени. При продолжительном рассмотрении благотворно влияет на зрение.

Альмандин будет рассмотрен при гранатах.

Научно-популярное издание

Вячеслав Владимирович Орленок
ВОДА В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ И ПЛАНЕТ

Главный отраслевой редактор
А. Нелюбов
Редактор Л. Иваненко
Худож. редактор П. Храмцов
Художник З. Ярина
Техн. редактор Н. Клецкая
Корректор Е. Альшевская

ИБ № 10819

Сдано в набор 26.09.89. Подписано к печати 22.11.89. Т-18622. Формат бумаги 60×84¹/₁₆. Бумага для глуп. печ. Гарнитура журнально-рублевая. Печать глубокая. Усл. печ. л. 2,80. Усл. кр.-отт. 6,06. Уч.-изд. л. 3,45. Тираж 17 011 экз. Заказ 625. Цена 20 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 906601. Ордена Трудового Красного Знамени Калининский полиграфический комбинат Государственного комитета СССР по печати. 170024, г. Калинин, пр. Ленина, 5.

ДОРОГОЙ ЧИТАТЕЛЬ!

Брошюры этой серии в розничную продажу не поступают, поэтому своевременно оформляйте подписку. Подписка на брошюры издательства „Знание“ ежеквартальная, принимается в любом отделении „Союзпечати“.

Напоминаем Вам, что сведения о подписке Вы можете найти в „Каталоге советских газет и журналов“ в разделе „Центральные журналы“, рубрика „Брошюры издательства „Знание“.

Цена подписки на год 2 р. 40 к.



СЕРИЯ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ