

## Древность и молодость рельефа Земли

В. Е. Хаин



Виктор Ефимович Хаин, член-корреспондент АН СССР, профессор Московского государственного университета, специалист по общей и региональной геотектонике. Автор большого числа работ по различным проблемам глобальной и региональной геотектоники. Монографии: Общая геотектоника. М., «Недра», 1973; Региональная геотектоника. М., «Недра», 1971 и др. Неоднократно выступал в «Природе». Член редколлегии журнала «Природа».

Возраст рельефа или структуры — всегда камень преткновения для геологов и геоморфологов. С одной стороны, определять время становления рельефа или структуры можно тем моментом, когда они приобрели свой современный вид. В этом случае неизменно оказывается, что они чрезвычайно молоды.

С другой стороны, можно говорить о корнях современного рельефа, и эти корни иногда уводят нас чрезвычайно далеко, и по мере накопления данных все дальше и дальше в глубь геологических времен.

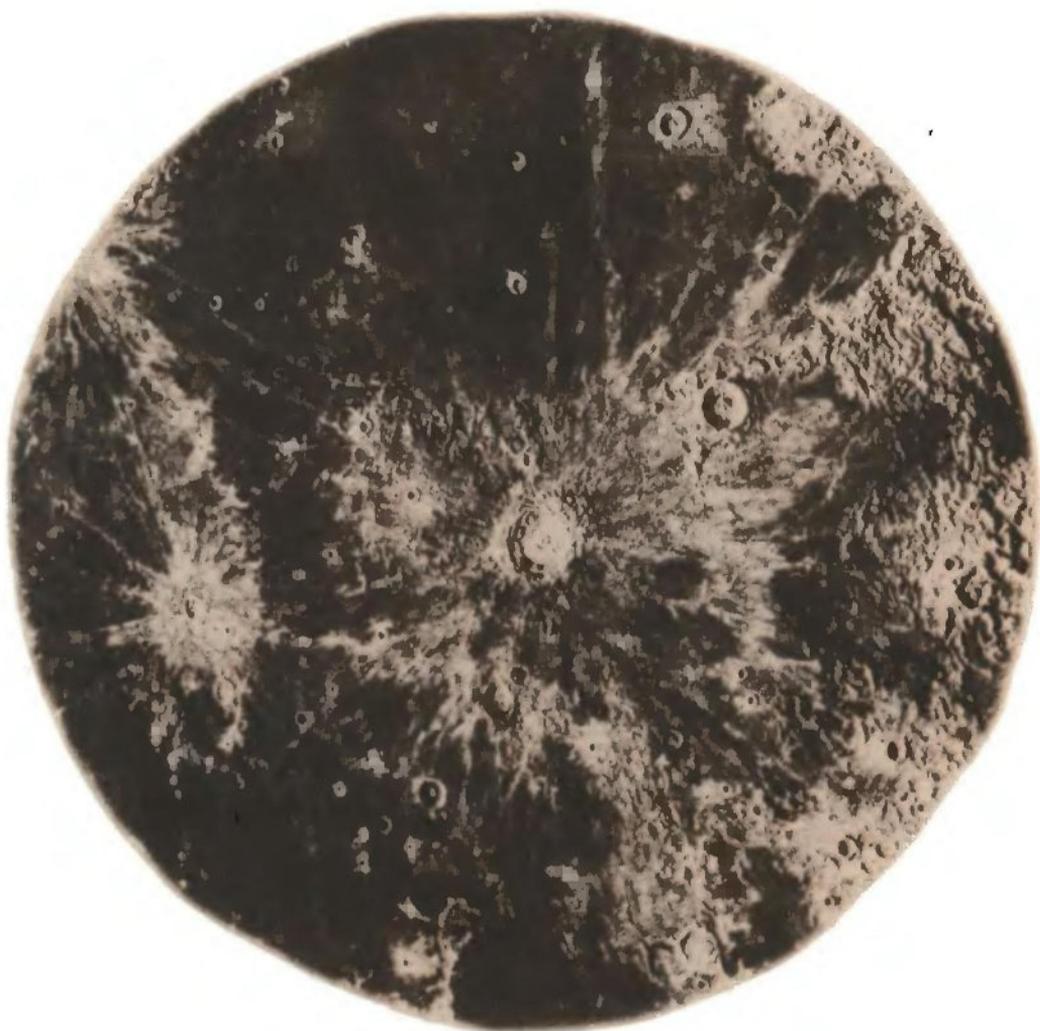
Новые геологические материалы заставляют вносить существенные поправки в еще сравнительно недавно сформулированные представления о времени и основных этапах становления рельефа Земли. Особенно это относится к геоморфологическому и геофизическому изучению океанов, где пробурено около 400 скважин (по существу во всех океанах). Полученные данные позволили значительно уточнить наши знания о возрасте многих участков Мирового океана и некоторых окраинных морей.

Кроме того, благодаря применению радиометрических методов датирования горных пород, наряду с совершенствованием классических методов изучения ме-

таморфических толщ, в значительной мере расшифрована тектоническая история докембрия, чрезвычайно большого отрезка в геологической истории Земли, начавшегося 4 млрд лет назад и кончившегося около 600 млн лет назад. Все это позволяет установить определенные рубежи в развитии структуры и рельефа Земли за это время.

На самой ранней стадии своего развития поверхность Земли должна была напоминать поверхность Луны. Мы можем датировать эту стадию интервалом 4,5—4 млрд лет. Она постепенно переходит в первично-океаническую стадию — на поверхности Земли возникает базальтовая кора.

Геологи давно стремятся найти на поверхности континентов первичную базальтовую кору и время от времени выдвигают различные образования в качестве «кандидатов» на представительство этой коры. В частности, некоторые советские геологи считают, что древние докембрийские породы Алданского щита, по составу близкие к базальтам, могут быть именно такими образованиями. Пока еще эти соображения не доказаны. Весьма вероятно, что остатки первичной базальтовой коры на поверхности современных континентов не сохранились, испытыв



Лунный рельеф. Примерно так, по мнению многих геологов, земная поверхность выглядела на самой ранней стадии своего развития.

очень глубокую переработку. Остатки первичных гранитных ядер хорошо известны. Они были названы канадским геологом А. Гудвином протоконтинентами.

Радиологическая датировка показала, что в целом ряде докембрийских щитов древнейшими радиометрически датированными являются порбды типа гранитов, гнейсов, чаще всего гранито-гнейсов, т. е.

кислые породы, которые составляют фундамент современных континентов.

Галька кислых пород встречается в древнейших вулканогенных толщах, в этих же толщах найдены прослой кварцитов, аркозов, содержащих в больших количествах кварц, полевой шпат, т. е. продукты размыва древнейших гранитоидов. В настоящее время наиболее древними представителями этого типа пород, и к стати древнейшими на Земле породами, считаются гранито-гнейсы южной Гренландии, возраст которых примерно 3,8 млрд лет. Если считать, что точность этих определений  $\pm 200$  млн лет, очень возможно, что эти породы образовались около 4 млрд лет назад.

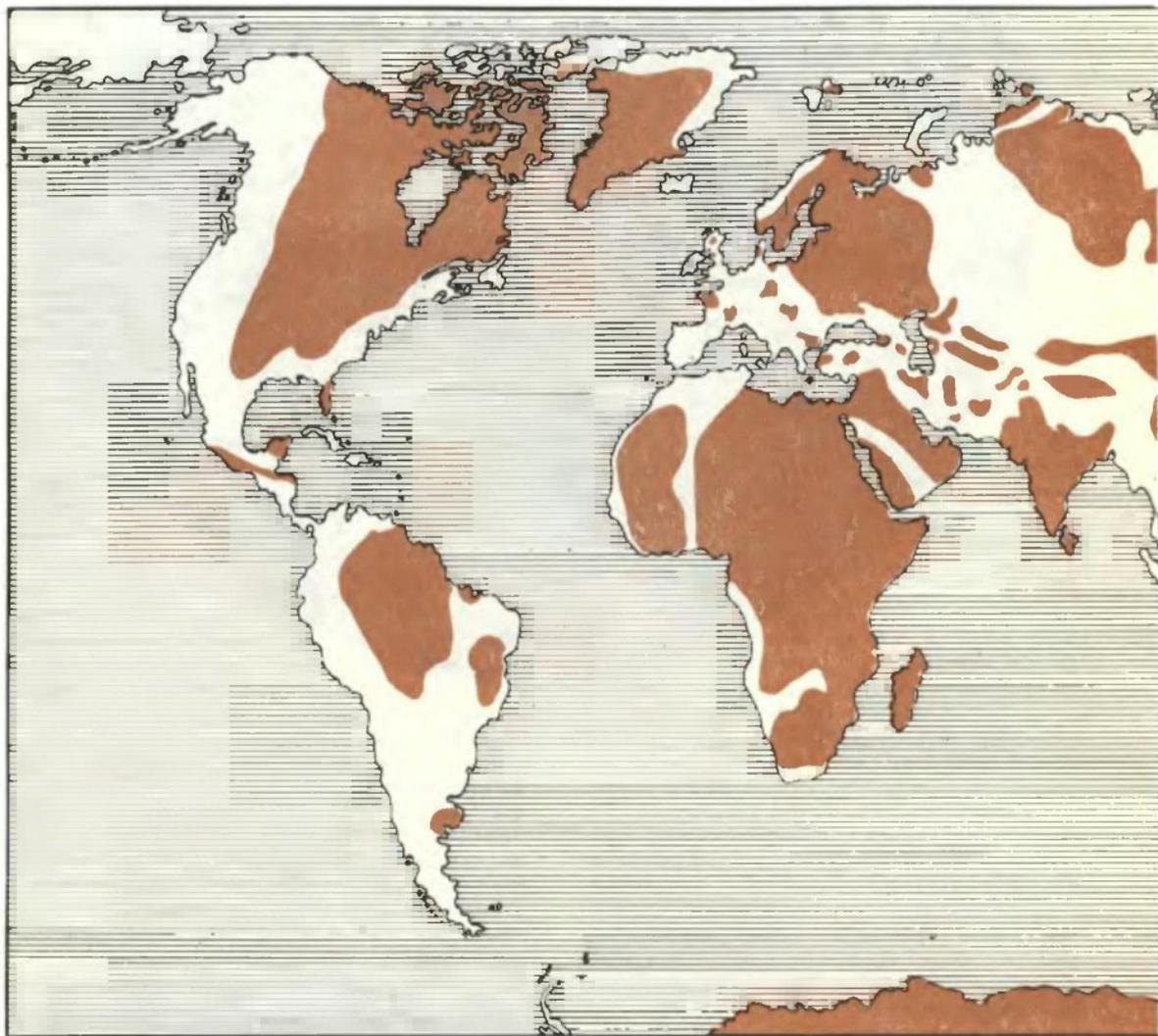
Итак, 4 млрд лет назад на поверх-

ности Земли появилась кора континентального типа, которая в силу законов изостазии должна была занимать достаточно повышенное положение. Поэтому чрезвычайно вероятно, что участки, сложенные такой корой, должны были выступать над уровнем моря в виде каких-то более или менее крупных островов суши и должны были размываться.

У этого предположения несколько оснований. Во-первых, как мы уже говорили, в древнейших породах содержатся продукты размыва — кварц и полевой

шпат. Кроме того, в Гренландии найдены парагнейсы и железистые кварциты, т. е. метаморфизованные древние осадочные породы. Значит, 4 млрд лет назад уже существовала водная среда и шли процессы денудации, подобные происходящим в более молодые геологические эпохи.

Породы, встреченные в Гренландии, вовсе не уникальны, они известны в пределах почти всех древних кристаллических щитов, всех древних платформ, в пределах практически всех материков.



Реликты позднекембрийских континентов (заливка) в современном структурном плане Земли.

В частности, в Северной Америке подобные породы обнаружены в юго-западной части Канадского щита (к западу от оз. Верхнего). Их возраст — более 3,5 млрд лет. В Южной Америке комплекс древнейших пород, датируемый возрастом примерно 4 млрд лет, обнаружен во Французской Гвиане. В Африке (ЮАР) также обнаружены граниты возраста около 3,5 млрд лет. Подобные образования известны и во многих других районах Африки, Австралии, Южной Азии.

На территории СССР породы с воз-

растом около 3,7 млрд лет найдены в районе Алданского щита, несколько более молодые — на Балтийском щите. Благодаря работам советских антарктических экспедиций породы такого древнего возраста обнаружены ныне и в Антарктиде.

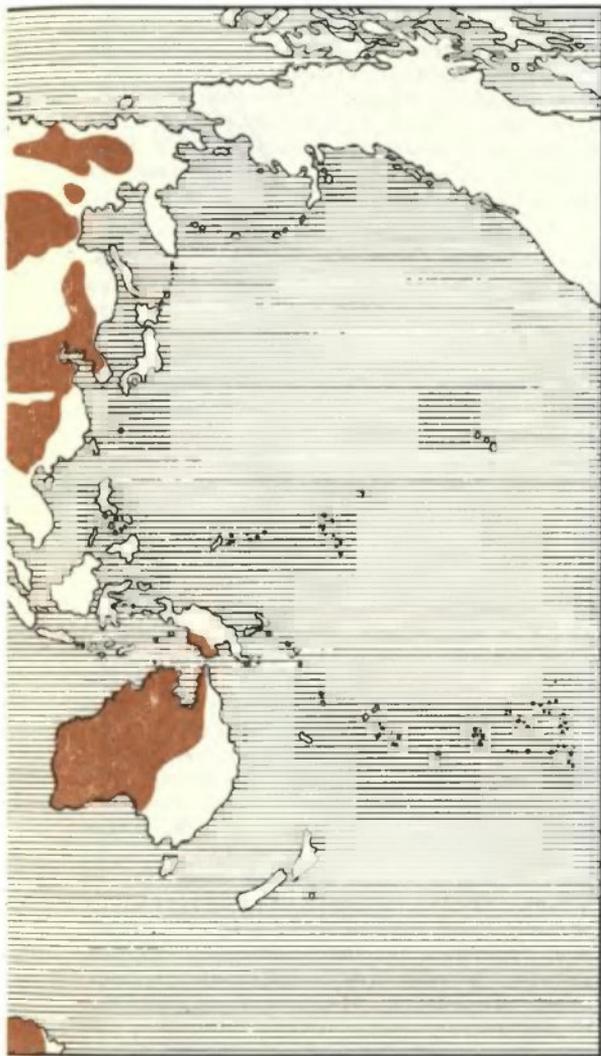
Очевидно, процесс становления континентальной коры был планетарным и охватил огромные территории современных континентов. Ядра этой древнейшей коры еще не везде достаточно четко оконтурены, но, как показал ленинградский геолог Л. И. Салоп, они обычно имеют округлую или овальную форму. Он их назвал складчатыми овоидами, в отличие от протоконтинентов Гудвина.

Таким образом, древнейшие центры кристаллизации континентов наметились уже в период между 4—3,5 млрд лет назад. Большая часть этих протоконтинентов выступала в виде участков суши и в течение последующей истории Земли. Возможно, впрочем, что они ненадолго скрывались под водой, а в дальнейшем снова выходили на поверхность.

Итак, начало становления современного рельефа относится к чрезвычайно отдаленным временам, однако вряд ли это дает право считать этот рельеф заданным первоначально и вообще полагать, что современные континенты и океаны обозначились на поверхности Земли уже в период образования ее как планеты. Некоторые ученые считают, что современный рельеф — результат первичной неоднородности, вызванной тем, что сама Земля могла образоваться из довольно крупных метеоритных тел, достигающих в поперечнике сотни и даже тысячи километров.

Представляется, что такая точка зрения является крайней, и я не могу с ней согласиться. Появляется все больше данных, что Земля или образовалась из горячего протопланетного облака, или же прошла через стадию очень сильного разогрева и что при этом она нагрелась даже в поверхностных частях до температуры более 1000°. Эти условия должны были способствовать очень большой гомогенизации вещества Земли. Принятие другой точки зрения — о раздельном образовании сначала ядра из железных метеоритов, затем мантии из каменных — не меняет существа дела.

Действительно, данные петрологов указывают на относительно большую однородность мантии по вертикали и по латерали. Следовательно, дифференциация по латерали свойственна в основном



верхним оболочкам Земли, прежде всего литосфере и в какой-то мере самой верхней части мантии, и не является первоначальным свойством Земли. Скорее она — продукт ее эволюции.

Итак, хотя дифференциация земной коры должна была начаться очень рано, вскоре за ее образованием, тем не менее только она и ответственна за изменчивость рельефа Земли и ее структуры.

К середине и особенно к концу архейской эры (3—2,5 млрд лет назад) протоконтиненты объединились уже в довольно крупные плиты континентальной коры. Затем произошло разделение этой первичной континентальной коры на отдельные блоки, более или менее изометричные. В отличие от протоконтинентов, имевших плавные овалы или округлые очертания, они уже были ограничены разломами, между ними были расположены линейные подвижные зоны с утоненной корой — протогеосинклинали.

Современные данные показывают, что в это же время появляется еще один тип подвижных поясов, который в противоположность опускающимся зонам с океаническим типом коры, характеризуется тенденцией к воздыманию и утолщенной корой с развитым гранито-гнейсовым слоем.

Оказывается, что зоны такого рода чрезвычайно устойчивы и развиваются на протяжении огромных промежутков времени.

Одной из характерных зон такого типа является Аравийско-Мазамбикский пояс Африки, особенно его южная часть. Он начинается в районе Красного моря, продолжается в южных районах Судана, тянется через Восточную Африку, в сторону Мозамбика, прижимаясь к побережью. Подобные пояса протягиваются также через Восточные Гаты в Индостане, через крайнюю восточную часть Канадского щита (Гренвильский пояс), вдоль атлантического побережья Бразилии, через Нигерию и массив Хоггара в Африке. Если представить Африку и Южную Америку первоначально едиными, как это делают мобилисты, окажется, что последний пояс (Ливийско-Нигерийский) продолжает Бразильский к северу. В нашей стране классическим представителем такого пояса (кстати, древнейшим) является Становой хребет и в какой-то степени его продолжение в зону Прибайкалья. Исследования показали, что он заложился более 2 млрд лет

назад, а подвижность свою сохранил фактически до современной эпохи.

Итак, с геологической точки зрения эти пояса характеризуются очень длительной подвижностью, очень длительной тенденцией к воздыманию и очень высоким, по-видимому, тепловым потоком на протяжении длительного времени. Очевидно, именно поэтому породы таких поясов сильно метаморфизованы.

Нередко они сохраняют тенденцию к поднятию вплоть до современной эпохи. Именно в пределах древних подвижных пород часто закладываются рифтовые системы, которые оформились по геологическим понятиям недавно. Наглядный пример — древний Аравийско-Мозамбикский пояс и осложняющая его крупнейшая на Земле Восточно-Африканская рифтовая система, очень древняя Байкало-Становая зона и развивающаяся здесь система рифтов.

Общей тенденцией развития рельефа в течение раннего и среднего докембрия до рубежа 1,7—1,4 млрд лет было разрастание континентальной коры за счет замыкания протогеосинклиналей, складчатости, метаморфизма и гранитизации основных и вулканогенных толщ протогеосинклиналей. В итоге к началу позднего докембрия возникли обширные пространства, покрытые достаточно мощной (до 30—35 км) континентальной корой с развитым гранито-гнейсовым слоем. Именно эта кора с впаянными в нее и как бы сваренными протогеосинклинальными системами и гранулитовыми поясами, более древними архейскими блоками, а в их составе катархейскими ядрами-протоконтинентами, и составляет фундамент современных древних платформ (кратонов) — Северо-Американской, Восточно-Европейской, Сибирской, Китайской, Южно-Американской, Африканской, Индостанской, Австралийской, Антарктической. Эти платформы и образуют основу современных материков. В пределах каждого из них известна древняя платформа, которая обычно занимает не менее половины площади материка, и только Азия, самый крупный из материков, является «многодержным» образованием. В ней три платформы: Сибирская, Китайская, Индостанская, причем Индостанская лишь очень недавно, по геологическим масштабам, сомкнулась с остальной Азией (недаром Индостан выделяют в особый субконтинент).

Поверхность возникших к позднему докембрию континентальных платформ в

течение сотен миллионов лет подвергалась разрушению и размыву. Это привело к ее выравниванию и образованию первичной равнины — «протопенеппена», по терминологии С. С. Коржуева; на равнину потом наступали и ее срезали волнами ранне-палеозойские моря. Местами эта поверхность теперь вышла из-под осадков морей и поднята на ту или иную высоту над уровнем современного океана.

Таким образом, равнинный рельеф больших площадей нынешних материков

Но современные древние платформы — лишь обломки первичных континентальных плит гораздо большего размера, когда-то их объединявших. В позднем докембрии (1,4—0,8 млрд лет назад) плиты начали распадаться, между ними заложилась новые геосинклинальные пояса. Из них-то на протяжении палеозоя, мезозоя и кайнозоя и возникли могучие горные цепи, существующие и ныне. По своим первоначальным размерам, по глубине покрывавших их вод, по строению коры, которая была тонкой и в централь-



Одна из последних реконструкций Пангеи в начале мезозоя. Заливкой показаны зоны, затронутые деформациями в кайнозое (их точное положение не ясно); пунктир — подводные окраины континентов.

унаследован еще от позднего докембрия, ему более 600 млн лет; не моложе и речная сеть равнин, как на это давно указывал К. К. Марков.

ных их частях «безграничной», — эти пояса были близки современным океанам. Реликты самого крупного из таких поясов обрамляют нынешний Тихий океан, другой пояс был предшественником современной Атлантики, третий — современного Средиземноморья, но он продолжался далеко на восток, до выхода к Тихому океану. Наконец, тогда же возник Урало-Монгольский пояс, полностью исчезнувший уже к концу палеозойской эры.

В палеозое распад континентальных плит сменился их слиянием, геосинклинальные пояса замкнулись и образовались гигантские континентальные массивы — северный (Лавразия) и южный (Гондвана). На короткое время в самом конце палеозоя — начале мезозоя суперконтиненты даже соединились в районе современного Западного Средиземноморья с образованием единой континентальной массы — вегенеровской Пангеи. Вскоре, однако, в направленности событий опять произошел коренной поворот, который и привел, в конечном счете, к становлению современного рельефа Земли.

Началом последнего, собственно геоморфологического этапа развития рельефа Земли, после работ И. П. Герасимова и Ю. А. Мещерякова, считают ранний мезозой. Новейшие геологические данные подтверждают, что именно с этого периода формируется современный лик Земли, происходит распад Гондваны и Лавразии, формируются ныне существующие океаны и континенты.

Датирование пород океана и геофизические данные показывают, что древнейшие участки Мирового океана действительно имеют раннемезозойский возраст. Таков возраст дна северо-западной части Тихого океана, северо-восточного участка Индийского океана, юга Северной Атлантики.

Правда, здесь не так все просто. Имеются основания полагать, например, что начало образования Тихого океана восходит, по крайней мере к середине докембрия и что в позднем докембрии и палеозое он, вместе с обрамляющим его подвижным кольцом, должен был в той или иной форме существовать. Между тем в этой акватории мы пока не находим коры и осадков столь древнего возраста.

Сторонники «тектоники плит» считают, что древняя базальтовая кора и древние осадки Тихого океана поглощены и переработаны геосинклинальным процессом, который происходил по окраинам Тихого океана.

Исчезновение океанической коры в ходе этого процесса можно вообразить себе таким образом. Представьте себе бассейн, в середине которого бьет фонтан. Плавающие в бассейне листья и пена будут прибывать к бортам бассейна. Примерно такая картина была, видимо, и в Тихом океане. Здесь существовал центр постоянных восходящих мантийных струй и под влиянием этих струй

«поверхностная пена» — океаническая кора — оттеснялась к континентам, наращивая их. Из нее и созданы, по существу, те складчатые сооружения, которые в настоящее время обрамляют Тихий океан, — могучая система Кордильер обеих Америк и система островных дуг, окаймляющая Азию и Австралию.

Все, что накопилось на поверхности Тихого океана в домезозойское время, давно уже прибило к его краям и давно уже втянуто в этот геосинклинальный, созидательный процесс. Из этого материала образовались метаморфические толщи, из продуктов их переплавления — грандиозные гранитные батолиты, которые протягиваются по побережью Америки, многочисленные массивы гранитоидов вдоль краев Азиатского и Австралийского континентов и островных дуг и т. п.

Таким образом, Тихий океан, с одной стороны, достаточно древний, но, с другой, в своем современном облике оформился недавно — в начале мезозоя, а его восточная часть образовалась только в конце мезозоя и в кайнозое.

Относительно молод и Атлантический океан, древнейшая часть которого обозначилась в конце средней — начале поздней юры. Другие участки океана еще моложе. Южная Америка отделилась от Африки в середине позднего мела, а участок к северу от Фарреро-Исландского порога образовался только в течение палеогена. Это подтверждено глубоководным бурением<sup>1</sup>.

Вместе с тем в геологическом смысле Атлантический океан одновременно и древний. В раннем и среднем палеозое примерно на том же месте существовал Протоатлантический океан. А еще раньше до его образования здесь протягивались гранулитовые пояса, о которых шла речь выше. Сохранились их остатки — это Гренвилльский пояс, частично скрывающийся в фундаменте Аппалачей, и подобный ему пояс, тянувшийся через южную Скандинавию и Британские о-ва. Их реликты обнаружены на восточной периферии Атлантики — на банке Рокколл и в пределах Западной Европы. Предполагается, что это был единый пояс, который разделял устойчивые части Северо-Американской и Восточно-Европейской платформ, а затем лопнул, разошелся, и образовался Протоатлантический океан. Затем этот океан замкнулся в конце палеозоя — начале

<sup>1</sup> «Природа», 1975, № 6, с. 101.

мезозоя, но затем снова раскрылся в начале юрского периода. Итак, с одной стороны, Атлантическому океану присущи черты молодости, с другой стороны, черты древности.

Другой важный рубеж формирования рельефа — конец мела и начало палеогена и особенно конец эоцена и начало олигоцена. Если подходить с точки зрения истории океанов, этот рубеж представляется наиболее важным и должен быть принят за начало неотектонического этапа. Это было время очень

рифт, проходящий через Исландию, между Шпицбергом и Гренландией и дальше в сторону хребта Гаккеля в Северном Ледовитом океане. С этого времени начинается активно развиваться Евразийская котловина Северного Ледовитого океана, появляются Гренландское и Норвежское моря, Америка на этом участке отделяется от Евразии, обособляется хребет Ломоносова.

С этого же времени подобные изменения рельефа происходят и в районе Австралии. Предполагается, что до эоце-

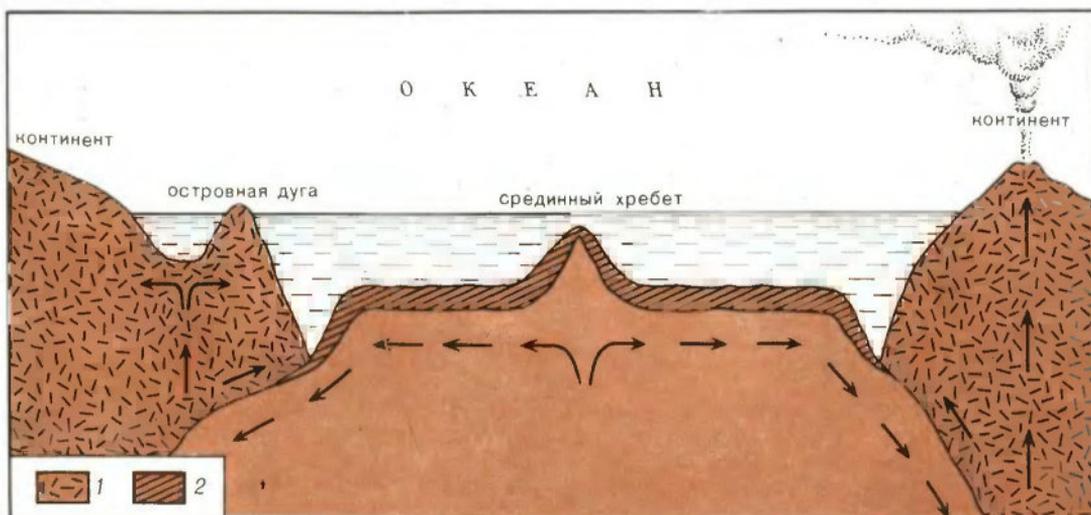


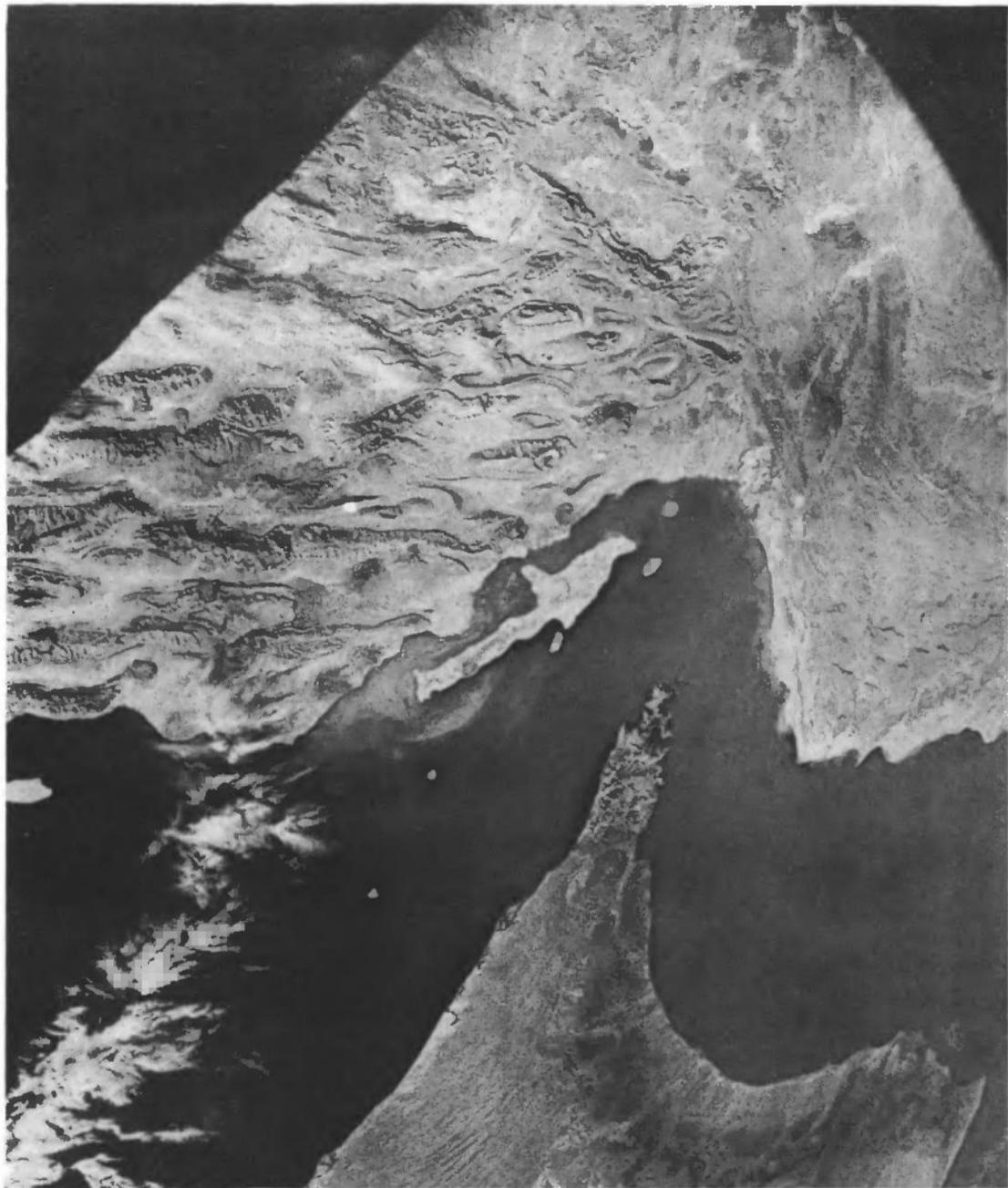
Схема формирования Тихого океана. Стрелками показано движение материала в частично расплавленном подкоровом слое верхней мантии и магмы под окраинами континентов: 1 — континентальная кора, 2 — океаническая кора. В Тихом океане существовал центр постоянных мантийных струй, под влиянием которых «поверхностная пена» отделилась к континентам. Из такой «пены» и образовались горы, обрамляющие Тихий океан.

сильной перестройки плана расположения срединных хребтов, родоначальных для океанов и являющихся их осями.

Действительно, до конца мела Атлантический океан продолжался и раскрывался в сторону Лабрадорского моря и Баффинова залива. В течение позднего мела, палеоцена и эоцена Гренландия отделилась от Северо-Американского материка, а с конца эоцена развитие этого рифта закончилось и заложился новый

нового периода Австралия и Антарктида были единым континентом. С конца эоцена образуется Южный океан, отделяющий ныне Австралию от Антарктиды. Австралия быстро продвигается из высоких полярных широт в низкие широты. Это подтверждается изучением осадков вокруг Австралии. Оказывается, что чем древнее осадки, тем они больше содержат холоднолюбивой фауны. А в эоценовых осадках появляется фауна более теплых вод, свидетельствующая о постепенном приближении Австралии к экватору. Несколько раньше образовались Тасманово и Коралловое моря, отделилась Новая Зеландия и обособились подводные поднятия с континентальной корой — Лорд-Хау и Норфолк — и образовался собственно Австралийский континент.

Значительная перестройка произошла чуть раньше (в конце мезозоя) в Тихом океане. Древние центры разрастания океана, существовавшие в районе о-вов Феникса и в других местах, утра-



Молодые складчатые горы и моря. На этом космическом снимке виден Персидский залив (слева), Ормузский пролив (в центре) и Аравийское море (справа). Вверху — побережье Ирана со складчатыми горами, внизу — выступ Оманского п-ова также с горами, сложенными переброшенными с северного побережья Ормузского пролива массивами пород древней океанической коры.

тили свою активность, а океанообразующие процессы стали происходить в зоне современного Восточно-Тихоокеанского хребта. Тут тоже произошла решающая перестройка структурного плана. Возраст большей части окраинных морей Тихого океана может быть датирован либо концом мела, либо даже неотектоническим

этапом. В частности, котловины Карибского моря, Венесуэльская и Колумбийская котловины — наиболее древние, образовались они в позднемиоценовое время, а Юкатанская и Гренадская — еще позже. Очень молодой возраст имеет область Панамского залива, область моря Скоша, которые возникли только в неогеновое время и даже, возможно, в конце миоцена. Некоторые из этих заливов Мирового океана возникли в результате проникновения в эти зоны побочных осей расширения океанического дна. Например, от Восточно-Тихоокеанского хребта отходит побочная ось — так называемая Галапагосская зона, которая простирается к Панамскому перешейку. Подобная ось имеется и в море Скоша.

В целом окраинные и внутренние моря молоды и представляют собой, так сказать, побочный продукт формирования самих океанов. Они в основном образовались во время неотектонического этапа эволюции рельефа Земли.

Другими словами, неотектонический этап отразился в развитии не только континентальной части земной поверхности, но и ее океанической части. Система глубоководных желобов, которая развита на периферии Тихого океана, образовалась в существующем ныне виде именно в этот период, хотя, очевидно, существовали и более древние глубоководные желоба, которые были засыпаны осадками, смяты в складки и в целом ряде случаев причленены к островным дугам, т. е. втянуты в состав более древних складчатых сооружений.

Таким образом, этапы формирования рельефа Земли, которые ранее эмпирически намечались на основе изучения континентов, оказываются характерными и для океанов. При этом материал по изучению океанов скорее подтверждает, чем опровергает идею о существовании определенного планетарного ритма, глобального ритма тектонических процессов и показывает, что эпохи активизации тектонических движений и периоды их затухания были в значительной степени общими для континентальной и океанической областей Земли.

Вот некоторые соображения, которые возникают на основании новейших геологических материалов и которые позволяют яснее, чем это было раньше, хотя не до конца еще ясно представить себе общий ход эволюции рельефа нашей планеты на протяжении ее длительной истории и наметить ее основные этапы.

1 — догеологическая стадия, формирование планеты Земля (около 4,5 млрд лет); 2 — «лунная» стадия, интенсивная метеоритная бомбардировка создает кратерный рельеф лунного типа, начинаются излияния базальтовых лав; 3 — первично-океаническая стадия, образуется первичная базальтовая кора, гидросфера и атмосфера (длительность 2 и 3 стадии от 4,5 до 4 млрд лет); 4 — протоконтинентальная — протогоеосинклинальная стадия, возникают гранитоидные ядра — протоконтиненты, обособляются протогоеосинклинали, создается сетка глубинных разломов (3,8—1,7 млрд лет); 5 — первично-континентальная стадия, протогоеосинклинали замыкаются, образуются обширные континентальные массивы (единый массив?) с выровненной поверхностью (1,7—1,4 млрд лет); 6 — платформенно-геосинклинальная стадия, формируются вторичные геосинклинальные пояса — океаны, между ними обособляются континентальные платформы (1,4—0,3 млрд лет); 7 — вторично-континентальная стадия, геосинклинальные пояса замыкаются (кроме Тихоокеанского), образуются суперконтиненты Лавразия и Гондвана (0,3—0,2 млрд лет); 8 — континентально-океаническая стадия, возникают молодые океаны — Атлантический, Индийский, Арктический (0,2 млрд лет). С конца эоцена (50 млн лет) конфигурация континентов и океанов, горных систем и равнин приобретает современный вид (неотектонический этап).

Сравнение с другими планетами все больше убеждает в том, что Земля далеко ушла вперед в своей эволюции по сравнению с «сестрами» по Солнечной системе.

УДК 551.4; 551.24