



В. А. ВАРСАНОФЬЕВА

# ЖИЗНЬ ГОР

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКОВСКОГО ОБЩЕСТВА  
ИСПЫТАТЕЛЕЙ ПРИРОДЫ  
Москва - 1948



МОСКОВСКОЕ ОБЩЕСТВО ИСПЫТАТЕЛЕЙ ПРИРОДЫ

Основано в 1805 году

---

*216.84.06*

## Среди природы

Выпуск 7

Проф. В. А. ВАРСАНОФЬЕВА

*520*

# ЖИЗНЬ ГОР

БИБЛИОТЕКА  
Печоро-Ильчского  
ГОС. ЗАПОВЕДНИКА  
Инв. № 2261



---

ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО ОБЩЕСТВА ИСПЫТАТЕЛЕЙ ПРИРОДЫ

---

МОСКВА — 1948

ЧИТАТЕЛЬ!

Просим сообщить Ваш  
отзыв об этой книге по адресу:  
Москва 9, Маждан 9, Изда-  
тельству Московского общества  
испытателей природы



---

*Твердо помнить должно, что видимые телесные на Земле вещи и весь мир не в таком состоянии были с начала, как ныне находим, но великие происходили в нем перемены\**

М. В. Ломоносов

## ВВЕДЕНИЕ

**П**риходилось ли вам, когда-нибудь видеть восход солнца в горах? Это одно из самых прекрасных и величественных зрелищ, которыми может любоваться человек. Горы так хороши на рассвете, когда глубокие долины еще полны мглою ночи, а девственные снега могучих, ушедших в небо вершин горят в багряном отблеске зари. Сначала легкие, неуловимые, как утренний туман, вершины гор все ярче и ярче заливаются розовыми лучами восхода. Все яснее выступают на бледнеющем небе очертания далеких белых гребней и темные контуры неприступных скал. И наконец они встают перед вами во всем блеске своих ослепительных снегов и голубых ледников, во всей красе своих могучих, смелых очертаний, залитые ярким солнцем, величественные и незыблемые. И человеку, смотрящему со дна долины на эти сверкающие громады, кажется, что красота эта должна быть вечной, что эти высокие вершины непоколебимы, что всегда поднимали они к небу свои белые зубцы и всегда будут царить здесь в том же величии.

С точки зрения краткой человеческой жизни горы действительно могучи и вечны. Они не изменились сколько-нибудь заметно и за те тысячелетия, которые обнимает история человеческого рода. В те времена, когда полки Ганнибала<sup>1</sup> с трудом пробирались через долины Альп, белоснежные вершины этих гор имели те же очертания, как и во время героического перехода русских войск под предводительством Суворова и в наши дни, когда ими любуется путешественник, проезжающий по Швейцарии в быстро мчащемся вагоне поезда или в автомобиле. И великий хребет Гималаев в отдаленные времена, когда только зарождалась древняя индусская культура, возносил к небу те же ослепительные зубцы, которые и теперь чаруют взоры жителей Индии и влекут к себе смелых исследователей.

Но по сравнению с тем временем, которое обнимает собою история нашей Земли, жизнь не только человека, но и всего человеческого рода является кратким мгновением. Появление человека на Земле — самое последнее событие в длинной цепи изменений, которые претерпела органическая жизнь со времени своего возникновения. Этому событию пред-

---

<sup>1</sup> Ганнибал — полководец Карфагенского государства, который вел ожесточенную войну с римлянами из-за обладания хлебобородной Сицилией. В 218 году до нашей эры Ганнибал со своими войсками, преодолевая большие трудности, перешел Альпы и вторгнулся в Италию с севера.



шествуют долгие миллионы лет, в течение которых совершались величайшие перемены на поверхности нашей планеты. Мы говорили выше, что за все время существования человечества трудно подметить существенные изменения в высоте и очертаниях горных цепей. Но великий дар, который человек получил от природы, — дар мысли — позволяет ему заглянуть далеко вглубь веков и вызвать к жизни картины того отдаленного прошлого, свидетелем которого он не был никогда.

Наука, порожденная человеческой мыслью, учит нас тому, что на Земле нет ничего вечного. История Земли — это история непрерывных изменений, последовательных возникновений и смерти, которые связываются в одну стройную длинную цепь. И так же как возникали и умирали на протяжении земной истории семейства и роды своеобразных живых существ, также рождались, достигали величия, старились и умирали могучие горные цепи.

Каковы же силы, которые могли воздвигнуть громады наших гор?

Каковы силы, работающие над их разрушением? Почему вершины Кавказа и Гималаев уходят за грань облаков, а поросшие седыми мхами вершины Урала едва поднимаются над морем лесов? Почему горы Финляндии имеют такие мягкие очертания, а по высоте скорее должны быть названы холмами, тогда как могучие цепи Тянь-шаня высоко возносятся к небу покрытые вечными снегами зубчатые хребты?

Ответ на эти вопросы может дать наука, изучающая жизнь нашей Земли в прошлом и настоящем и называемая геологией<sup>1</sup>.

Предмет этой науки очень широк. Она всесторонне исследует жизнь нашей планеты с отдаленнейших времен ее существования и развертывает перед нами картины далекого прошлого.

Геология знакомит нас с древними, давно исчезнувшими живыми существами, когда-то населявшими Землю, она поднимает со дна океанов материка, погрузившиеся в незапамятные времена под уровень вод, восстанавливает очертания морей, существовавших в отдаленные периоды земной истории, воздвигает совершенно стертые с лица Земли горные цепи.

Ключом к пониманию этого далекого прошлого служит изучение настоящего, наблюдение над теми процессами, которые и теперь непрерывно изменяют лик нашей Земли.

Та часть нашей науки, которая занимается изучением геологических явлений, происходящих в настоящее время, называется динамической, или физической, геологией. Геолог присматривается к непрерывной работе, происходящей на земной поверхности под влиянием целого ряда разнообразных сил, или геологических деятелей. Такими геологическими деятелями являются, например, воды ручьев и рек, размывающие склоны возвышенностей и прорывающие в горах глубокие овраги и долины, море, разрушающее свои берега и отлагающее на дне самые разнообразные осадки, или ветер, гонящий по пустыне пески и создающий из них целые цепи песчаных холмов, или барханов.

Могучие силы таятся и в недрах самой Земли. Они сказываются на поверхности в содроганиях земной коры, которые мы называем землетрясениями, и в извержениях вулканов, во время которых через отверстие, находящееся на вершине вулканической горы и называемое кратером<sup>2</sup>, выбрасывается на поверхность расплавленная каменная масса, или лава, нагретая свыше 1 000°, а также крупные и мелкие обломки

<sup>1</sup> От греческих слов: «ге» — земля и «логос» — учение.

<sup>2</sup> Кратер — греческое слово, означающее чаша.



камней и комья лавы, получившие название вулканических «бомб» и вулканических камешков, или ляпилли<sup>1</sup>. При некоторых извержениях, сопровождающихся сильными взрывами, выбрасываются мельчайшие осколки и застывшие брызги лавы, которые образуют целые тучи так называемого вулканического пепла. Вулканические извержения говорят нам о том, что в более глубоких зонах земной коры господствует высокая температура.

Геолог учитывает результат работы каждого из этих деятелей. Он различает те образования, которые возникают на поверхности Земли под влиянием этой работы. Осадок реки или моря, холмы пустынных песков, потоки лавы и выбросы вулканического пепла имеют свои характерные признаки, по которым геолог узнает их и тогда, когда найдет в «ископаемом» состоянии в таких условиях, где в настоящее время давно уже прекратилась работа соответственного деятеля.

Белый известняк, который ломают в окрестностях Москвы и который издавна шел на постройки древней «белокаменной» столицы и теперь употребляется в нашем новом строительстве, переполнен остатками морских организмов. Он мог отложиться в свое время только на дне моря. Пласты этого камня ясно говорят нам о том, что когда-то морская гладь покрывала самое сердце нашей родины.

Во многих местах по восточному склону Урала находим мы породы, которые представляют собою уплотненный и измененный вулканический пепел или застывшую, превратившуюся в крепкий камень лаву. Когда-то могучие вулканы поднимались в этих местах. Они выбрасывали тучи пепла и извергали потоки лавы там, где теперь раскинулись вспаханные поля и дымят только трубы заводов.

Изучая шаг за шагом памятники, оставленные геологическими деятелями на поверхности Земли в различные эпохи ее жизни, геолог постепенно восстанавливает всю сложную историю этой жизни. Это громадный труд, который далеко еще не завершен. Но за время существования геологии, насчитывающей немногим более полутора столетий, уже очень много сделано в этом направлении.

Геологам удалось проследить историю развития органического мира с отдаленнейших времен, от которых сохранились лишь скудные следы жизни, и нарисовать грандиозную картину непрерывной эволюции организмов, завершающейся появлением человека.

Вместе с тем остатки ископаемых животных послужили тем материалом, на основании которого они могли разобраться в последовательности геологических напластований и узнать, какие пласты земной коры древнее и какие моложе; при помощи этих остатков оказалось возможным установить подразделения геологического времени и сравнить между собою одновременно образовавшиеся отложения различных стран.

Благодаря непрерывной эволюции органической жизни каждый данный момент в истории Земли отмечен своими формами животных и растений. Некоторые из них жили в течение очень краткого (конечно в геологическом масштабе) промежутка времени и пользовались в эпоху своего существования очень широким географическим распространением. Они получили название руководящих окаменелостей, так как безошибочно определяют время отложения того пласта, в котором мы их находим. При помощи руководящих окаменелостей мы часто можем установить очень дробные подразделения в толще геологических

<sup>1</sup> Ляпилли — итальянское слово, означающее камешек. Так называют мелкие обломки, выбрасываемые при извержении в Италии, где впервые ученые изучали деятельность вулканов.



напластований. Иначе говоря, мы можем отличить очень краткие моменты в истории Земли и проследить распространение соответствующих этому моменту отложений по всему земному шару.

Мы делим историю Земли на пять крупных эр. Им соответствуют группы пластов, отложившихся за время, которое обнимает данная эра. Древнейшая эра получила название археозойской или эры начала жизни (от греческих слов «архе» — начало и «зоон» — животное). В мощной группе пластов, являющихся памятником археозойской эры, совершенно не найдено ископаемых остатков организмов.

Породы, слагающие археозойскую группу, глубоко изменены под влиянием различных воздействий, которые они претерпевали со времени своего отложения и о которых мы поговорим подробнее впоследствии. Так, например, по мере накопления осадков этой мощной группы и покрывающих их слоев, отложившихся в последующие периоды истории Земли, древние археозойские отложения опустились в более глубокие части земной коры, где господствуют высокая температура и высокое давление. Влияние высокой температуры и высокого давления изменяет как структуру или строение пород, приобретающих в этих условиях тонкую сланцеватость и кристаллическое сложение, так и минеральный состав их. Разнообразные породы, отложившиеся первоначально на поверхности Земли в виде осадков морей, озер и рек представляющие собой застывшую лаву вулканов, превращаются в более глубоких областях земной коры в так называемые метаморфические породы, или кристаллические сланцы (от латинского слова «метаморфос» — изменение). Первоначальный характер пород, из которых образовались кристаллические сланцы, можно распознать только с большим трудом.

При этом изменении в большинстве случаев совершенно стираются и исчезают те отпечатки организмов и окаменелые остатки их, которые могли быть заключены в свое время в осадках, послуживших материалом для образования метаморфических пород.

Так как все породы археозойской группы метаморфизованы, мы не можем найти в них следов органической жизни даже и в том случае, если она уже существовала в это время.

В каких же пластах встречаются первые остатки организмов и что мы можем сказать о времени появления органической жизни на основании геологических данных?

Эра, следующая за археозойской, получила название протерозойской (от «протерос» — первый), или эозойской (от греческого слова «эос» — заря). Иначе она называется альгонкской, по имени альгонкского племени в Северной Америке, жившего в области Великих озер, где широко развиты отложения этого возраста.

Название «эры зари органической жизни» и «эры первой жизни» протерозойская эра получила потому, что в отложениях этого возраста найдены первые известные нам остатки организмов. Но не надо думать, что это действительно первые появившиеся на Земле живые существа. Породы протерозойской группы в большинстве случаев тоже глубоко метаморфизованы, и в них сохранились только скудные остатки организмов. Но эти остатки принадлежат уже представителям разнообразных типов и классов беспозвоночных животных. Мы находим в протерозойских отложениях корненожек и лучевиков, относящихся к типу простейших, иглы кремневых губок, раковинки плеченогих; встречаем примитивных представителей моллюсков и ракообразных и имеем основание предполагать, что в это время существовали кишечнополостные и иглокожие. Для того чтобы органический мир мог разделиться, или



дифференцироваться на такие разнообразные группы, должны были протечь длительные периоды эволюции органической жизни. С начала следующей за протерозойской палеозойской эры и до наших дней не появилось ни одного нового типа беспозвоночных животных, а к концу протерозойской эры, повидимому, все эти типы уже существовали. Это дает нам основание думать, что жизнь появилась уже в археозойской эре.

Мы видим, что геологам трудно восстановить условия, которые господствовали на Земле в течение этих древнейших времен ее истории. Тем не менее, внимательно изучивши древние метаморфические сланцы различных областей земного шара, мы можем сказать, что в те отдаленные времена уже существовали континентальные пространства и водные бассейны, в которых отлагались разнообразные осадки. В этих-то водных бассейнах и появились, вероятно, первые представители живых организмов. Следы их не могли сохраниться как вследствие последующей метаморфизации пород, так и вследствие того, что самые первые организмы были по всей вероятности простейшими формами, лишенными твердых скелетных частей, легко сохраняющихся в ископаемом состоянии.

Изучая состав и условия залегания археозойских и протерозойских пород, мы можем еще сказать, что древнейшие эры земной истории были временем напряженных горообразовательных процессов и грандиозных вулканических извержений.

Палеозойская эра («палайос» — древний по-гречески), или эра древней жизни, дает нам гораздо более богатый материал для восстановления картины органического мира, населявшего нашу Землю в отдаленные палеозойские времена. В пластах палеозойской группы сохранилось большое количество органических остатков. Изучение эволюции организмов палеозойской эры, среди которых имеется целый ряд хороших руководящих форм, дает нам кроме того возможность подразделить эту эру на периоды с соответствующими им системами пластов, периоды на эпохи, или отделы, которые в свою очередь часто могут быть подразделены на века, или ярусы.

Палеозойская эра разделяется на пять периодов. Отложения двух древнейших из них — кембрийского и силурийского — были впервые детально изучены в Англии, в Уэльсе, откуда и взяты их названия (от Кембрия — древнего наименования Уэльса и от народа силуров, некогда населявшего эту страну).

Третий период палеозоя получил название девонского по графству Девоншир в Англии, где отложения девонской системы пользуются широким развитием и где эта система впервые была установлена.

Следующий за девонским каменноугольный период назван так потому, что в отложениях этого возраста встречаются мощные залежи каменного угля. Так, например, наши донецкие ископаемые угли образовались в каменноугольном периоде, точно так же, как большинство месторождений Западной Европы. Но это, конечно, не значит, что отложения каменноугольной системы всегда и всюду содержат пласты каменного угля, или что все угленосные отложения, встречающиеся в разнообразных областях земного шара, будут иметь каменноугольный возраст. Так, например, богатейшие залежи нашего Кузнецкого бассейна в Сибири образовались частью в каменноугольном, но главным образом в следующем за ним пермском периоде. Это период получил свое название по нашей бывшей Пермской губернии, в пределах которой отложения данной системы очень широко развиты (или точнее по древнему Пермскому царству).



В пластах палеозойской группы сохранилось большое количество органических остатков, которые позволяют нам восстановить картину растительного и животного мира этого времени. Конечно, этот органический мир непрерывно изменялся. В каждом периоде вымирала часть форм, характерных для предыдущего периода, и появлялся ряд новых видов и родов. Эти организмы исчезали и появлялись не внезапно: изменение органического мира происходило непрерывно. Те границы, которые мы проводим между отдельными эрами и периодами, имеют условное значение, как и границы, которые отделяют доисторический период в жизни человечества от исторического, или так называемую древнюю историю от эпохи средневековья, а средние века от эпохи Возрождения и т. д.

Тем не менее мы все же можем охарактеризовать органический мир палеозоя в целом. Эта эра была временем существования и пышного расцвета более примитивных групп животных и растений по сравнению с господствующими ныне. Эти организмы вымерли, уступив свое место более совершенным, которые развились из примитивных в результате непрерывно происходящих в природе изменений физико-географических условий и процессов борьбы за существование и отбора наиболее приспособленных форм.

Палеозойские моря были населены разнообразными простейшими, своеобразными губками, а также кораллами и другими представителями кишечнополостных, отличающимися по строению своего скелета от ныне живущих. Некоторые из этих древних кишечнополостных, как, например, вымершие «трубчатые кораллы» и строматопоры, подобно современным кораллам, возводили напоминающие рифы сооружения, которые сохранились в виде мощных пластов массивного известняка.

Роль рифообразователей играли в палеозое своеобразные организмы археоциаты («древние бокалы»), родственные известковым губкам и жившие в кембрийских морях (рис. 1), и мшанки. Эти организмы жили колониями подобно рифовым кораллам. Изящные известковые скелеты колоний мшанок состоят из отдельных небольших, разнообразных по форме, ячеек, различным образом соединенных между собой. Колонии некоторых мшанок напоминают собой тончайшее кружево. В нашей современной фауне сохранились представители как пресноводных, так, главным образом, и морских мшанок, но они не играют уже той роли, которую играли их палеозойские предки.

Наряду с разнообразными кораллами и мшанками мы встречаем в палеозойских отложениях остатки раковин моллюсков, которые уже тогда делились на различные доныне существующие классы, как, например, двустворки, или пластинчатожаберные (к ним относятся современные речная беззубка и морская жемчужница), брюхоногие, представителями которых в современной фауне может служить садовая улитка и головоногие, представленные в наших морях каракатицей, осьминогом.

В современных морях главная роль принадлежит двустворкам и брюхоногим. Головоногие большого значения не имеют, и только одна из ныне существующих форм — кораблик, или наutilus, живущий в Индийском океане и в Тихом океане у Филиппинских островов, — имеет раковину.

В палеозойских морях большую роль играли головоногие, снабженные раковиной, родственные по своей организации современному кораблику и принадлежащие к группе так называемых наутилид. Это были хищники, охотившиеся за растительноядными формами и нередко достигавшие очень крупных размеров. Их раковины служат хорошими руководя-



щими окаменелостями. Так, например, в нижнесилурийских известняках окрестностей Ленинграда в изобилии встречаются крупные раковины ортоцерасов, вытянутые как «прямой рог» («ортос» — прямой, «церас» — рог). Они принадлежат к тем видам рода ортоцерас и близкого к нему



Рис. 1. Жизнь на дне кембрийского моря. Справа археонаты, по дну ползают трилобиты, плавают трилобиты, медузы и маленькие крылоногие моллюски

рода эндоцерас, которые характеризуют нижний отдел силурийской системы и не переходят в верхнесилурийские отложения. Разрезы длинных раковин эндоцерас, подразделенных перегородками на отдельные камеры, как это свойственно раковинам всех головоногих, часто можно видеть на плитах нижнесилурийского известняка, которыми вымощены тротуары Ленинграда.



Еще лучшими руководящими окаменелостями палеозоя являются плеченогие — организмы снабженные внешней двустворчатой раковиной, подобно моллюскам, к которым их раньше относили. Однако строение их тела, так же как строение их раковины и расположение ее на теле животного отличны от того, что мы наблюдаем у пластинчатожаберных моллюсков. У последних, как, например, у морской жемчужницы, или речной беззубки, створки раковины расположены с правой и с левой стороны тела, а у плеченогих — с брюшной и спинной. Есть ряд и других отличий.

В настоящее время плеченогие представлены лишь небольшим числом родов и видов. В палеозое они в изобилии населяли моря земного шара и не только дали ряд руководящих форм, но и послужили породообразующим материалом. Некоторые пласты палеозойских известняков сложены, главным образом, раковинами плеченогих. Наибольшего расцвета они достигли в силуре, а некоторые роды особенно пышно развились в девонском и каменноугольном периодах.

В современных морях встречаются представители своеобразных морских звезд, змеевидных морских звезд, или офиур, морских ежей, морских лилий и голотурий. Голотурии и некоторые морские ежи употребляются в пищу. Все эти оригинальные животные объединяются в тип иглокожих.

В палеозое существовали уже все перечисленные классы иглокожих, но они были представлены древними, вымершими впоследствии семействами, и наряду с ними встречались совершенно вымершие в настоящее время классы морских сумок — цистоидей и морских бутонов — бластоидей.

Особенно интересны ракообразные палеозойской эры. Среди них надо отметить гигантских «древних раков», достигавших нередко более метра длины и обитавших в морских лагунах и заливах, а также трилобитов, похожих на больших, одетых панцырем мокриц, которые копошились в илистом морском дне (рис. 1). Единственными представителями современной фауны, которых можно считать родственными палеозойским гигантским ракам, являются моллуккский и сямский мечехвосты, живущие в Индийском океане вдоль юго-восточных берегов Азии до Сямского залива на юге, и американский род мечехвостов, встречающийся вдоль восточного побережья Северной и Центральной Америки. Трилобиты и гигантские раки вымирают в течение каменноугольного и пермского периодов. Существовали в палеозое и насекомые представленные хищниками, как стрекозы и растительноядными, как тараканы, а также древние паукообразные.

Из позвоночных животных в палеозое большую роль играли рыбы. Остатки их встречаются уже в нижнесилурийских отложениях. В береговой полосе моря жили своеобразные, совершенно вымершие впоследствии панцырные рыбы с хрящевым внутренним скелетом и прочным наружным костяным панцырем. В открытом море плавали крупные хищники, родственные современным акулам. Их внутренний скелет тоже был хрящевым, и от них обычно сохраняются только зубы. Такие, покрытые черной эмалью зубы акул подобных рыб часто встречаются в наших подмосковных каменноугольных известняках.

В пересыхающих реках пустынных материков палеозоя встречались двоякодышащие рыбы, способные дышать жабрами в воде и существовать без воды, используя тогда для воздушного дыхания плавающий пузырь, принимающий на себя функцию легких.



В настоящее время существует всего три вида этих оригинальных рыб. Один из них — цератодус — живет в пересыхающих реках австралийских пустынь, другой — протоптерус — в пустынях Центральной Африки и третий — лепидозирен — в Южной Америке (Бразилия). В каменноугольных и особенно девонских и пермских отложениях мы нередко находим остатки черепа и зубов этих своеобразных форм. Встречаются в палеозойских отложениях и рыбы, родственные ганойдным, представленным в нашей фауне всем знакомым отрядом осетровых.

Наряду с панцирными, акулopodobными, двойкодышащими и ганойдными рыбами в палеозойских морях встречались и многочисленные представители вымерших теперь кистеперых костистых рыб, отличающихся от господствующих в настоящее время лучеперых устройством плавников. Плавники лучеперых, к которым относятся, например, наши окунь, судак, сельдь, а также и упомянутые выше ганойды, лучше приспособлены для плавания, и потому лучеперые со временем вытеснили кистеперых. Единственными представителями последних являются в современную эпоху полиптерус и каламоихтис, живущие в реках тропической Африки в бассейне Нила и Сенегамбии.

Особенно интересное событие в развитии органического мира — это появление во второй половине палеозоя в девонском периоде земноводных, или амфибий. В современной фауне к амфибиям относятся лягушки, саламандры, тритоны и безногие гимнофионы или червяги. Они ничтожно малы по сравнению с крупными земноводными, населявшими болота и озера каменноугольного и пермского периодов. Эти крупные формы отличались от современных развитием большого количества кожных костей на черепе, который был одет как бы сплошным костяным панцирем. В этом головном щите имелись только парные носовые и глазничные отверстия и одно теменное отверстие, вероятно служившее для выхода непарного теменного глаза. Эти земноводные получили название покрытоголовых, или стегоцефалов, они откладывали икру в водные бассейны, и личинки их жили в воде подобно современным головастикам.

Каменноугольный период является вместе с тем временем наиболее пышного расцвета древней палеозойской флоры, резко отличавшейся от современной. В настоящее время наиболее распространенными являются покрытосеменные растения, к которым относятся лиственные деревья и кустарники, злаки и разнообразные другие представители цветковых. Значительную роль в некоторых климатических условиях играют голосеменные — хвойные. В тропической полосе встречаются саговые, тоже относящиеся к голосеменным, но не играющие заметной роли в нашей флоре, так же как и гинкговые, единственный представитель которых, высокое дерево гинкго, сохранился в настоящее время в Японии и Китае. Немногими формами представлены в настоящее время папоротникообразные. К ним относятся плауны и папоротники, растущие в тени лесов, и хвощи, среди которых есть лесные, полевые и болотные формы. В наших широтах эти растения не достигают больших размеров и представляют собой низкорослые травянистые формы. Только на островах Индийского океана, в исключительно влажных и теплых климатических условиях, встречаются древовидные папоротники и крупные хвощи, достигающие более метра в высоту.

В каменноугольном периоде и в первой половине пермского господствовавшими на земле растениями были папоротникообразные. Большинство из них отличалось от современных гигантскими размерами и нередко более совершенным внутренним строением.



Своеобразный и сумрачный вид представляли топкие леса того времени, зеленой каймой тянувшиеся по берегам морей, озер и рек и покрывавшие болотистые пространства на материках.



Рис. 2. В лесу каменноугольного периода

До высоты сорока метров поднимались могучие стволы плауновых растений — лепидодендронов и сигиллярий (рис. 2), украшенные правильными узорами листовых подушек и рубцов от отпавших листьев. У сигиллярий эти рубцы располагались вертикальными рядами, а у лепидодендронов ромбические листовые подушки образовывали ко-



сые ряды. Поэтому даже по небольшим кусочкам коры этих растений можно узнать, с какими формами мы имеем дело.

Жесткие, плотно прижатые к стеблю чешуйчатые листья лепидодендронов и сигиллярий сохранялись только в верхней части побегов. Кроны этих деревьев, правильно ветвившихся путем повторного раздвоения стебля, давали мало тени, так же, как и вершины гигантских хвощей каламитов, селившихся в болотах и по топким берегам водных бассейнов. Подлеском высокоствольных плауновых деревьев являлись древовидные папоротники с широкими резными листьями и своеобразные представители голосеменных с папоротникообразными листьями. К ним относятся изящные вьющиеся «семенные папоротники», которые вымерли, не оставив потомства в современной флоре. Встречались тогда и более крупные представители голосеменных — оригинальные кордаиты с высокими мощными стволами. Глубокое безмолвие царило в этих великолепных хмурых лесах. Быть может оно нарушалось звуками, которые могли издавать стегоцефалы, подобно современным лягушкам или тритонам, и которые нам трудно представить. Но не слышно было пения птиц, жужжания пчел и жуков, не видно было полета пестрых бабочек, так как птицы еще не появлялись и не было тех насекомых, жизнь которых связана с жизнью цветковых растений. Скопление остатков растений того времени на дне водных бассейнов в виде древесного торфа и послужило материалом для образования каменного угля.

Пермский период в отношении развития органического мира является как бы переходным между палеозоем и мезозоем.

Прежде всего намечается изменение флоры, особенно резко сказывающееся во второй половине пермского периода, когда большое распространение получают представители голосеменных растений. К ним относятся упомянутая выше своеобразная группа кордаитов, появившаяся еще в девонском периоде и наибольшее развитие получившая в каменноугольном и пермском, а кроме того «семенные папоротники», цикадовые и хвойные растения и своеобразная группа гинкговых, единственный представитель которых в настоящее время — дерево гинкго с изящными двулопастными листьями — встречается в Японии. Хвойные впервые появляются в пермских отложениях. Наряду с изменением флоры изменяется и фауна. В течение пермского периода окончательно вымирают четырехлучевые кораллы, гигантские раки и трилобиты, морские бутоны и многие палеозойские роды морских лилий и ежей. Решительно клонятся к упадку плеченогие, исчезают многие роды наutilus. С другой стороны, расцветает ряд новых форм, которым суждено играть большую роль в мезозойской фауне. Так, например, в пермских отложениях значительное распространение получают аммониты, снабженные раковиной головоногие, отличающиеся от наutilus по ряду признаков. Наиболее характерным из этих признаков является изгибание края перегородок, разделяющих отдельные камеры раковины. Вследствие этого в месте пересечения края перегородки с боковой поверхностью раковины получается очень сложная линия называемая шовной или лопастной линией. Наоборот, лопастная линия раковины наutilus и ортоцераса будет простой. Интересно отметить, что в эволюции аммонитов строение лопастной линии играет большую роль и эта линия, по мере развития группы, становится все более и более сложной.

Первые аммониты появляются в самом конце силура. Но силурийские, девонские и каменноугольные их представители относятся к более примитивным формам, с более простой лопастной линией. В пермских отложениях имеются аммониты со значительно более сложной лопастной ли-



нией. Максимум это осложнение достигает у их мезозойских потомков. Усложнение лопастной линии, повидимому, придавало большую прочность раковине.

Необходимо отметить и появление в пермском периоде крупных пресмыкающихся, или рептилий, относящихся к разнообразным группам, частью вымерших уже в начале мезозоя.

Интересные находки рептилий из группы хищных звероподобных и из семейства растительноядных парейазавров были сделаны В. П. Амалицким в пермских отложениях Северной Двины, близ Котласа. По некоторым признакам эти формы приближаются к млекопитающим, но вместе с тем у них сохраняются некоторые очень примитивные черты строения, приближающие их к стегоцефалам. Великолепные монтированные скелеты этих крупных своеобразных ящеров можно видеть в Палеонтологическом музее Академии наук в Москве.

Мы видим таким образом, что резкой границы между палеозоем и мезозоем не существует и что в развитии органического мира непрерывно происходит вымирание одних форм и развитие других.

Мезозойская эра в целом характеризуется господством аммонитов и белемнитов в мире беспозвоночных и господством рептилий среди позвоночных.

Об организации аммонитов мы уже говорили. Надо только отметить, что у мезозойских форм лопастная линия достигает особенной сложности и что они являются важнейшими руководящими окаменелостями мезозоя.

Белемниты представляют собой головоногих моллюсков, у которых только задний конец тела помещался в небольшой раковине. Конец этой раковины в свою очередь охватывался известковым чехлом, чаще всего сохраняющимся в ископаемом состоянии и известным под народным названием «чортова пальца». В конической ямке, которая встречается на одном конце чортова пальца, помещалась задняя часть раковины.

И аммониты и белемниты были хищниками, подобно современным головоногим. Наряду с этим отрядом значительное развитие в мезозое получают двустворчатые моллюски, представленные частью вымершими, частью доныне существующими родами, как например, устрицы, пектены, или «гребешки» и др. Пышно расцветают ганоидные рыбы, а в меловом периоде особенно обильно развиваются представители наиболее высокоорганизованных лучеперых костистых рыб. Но особенно интересен расцвет рептилий, которые захватывают и сушу, и водные бассейны, и воздух.

В мезозойских лесах бродили и гигантские динозавры, наиболее крупные представители которых достигали более двадцати, а иногда и более тридцати метров длины. Одни из этих гигантов были покрыты чешуей и иглами, придававшими им устрашающий вид (рис. 3), другие имели гладкую кожу. Но эти огромные чудовища были мирными растительноядными животными. Встречаются среди динозавров и хищники, представленные мелкими, легкими и быстрыми в движениях формами, которые нападали на крупных, неповоротливых растительноядных. Однако и некоторые хищники достигали размеров 10—15 метров.

Скелет крупного динозавра — траходонта, найденный в меловых отложениях по реке Амуру, можно видеть в Музее им. Ф. Н. Чернышева в Ленинграде.

Некоторые отряды мезозойских рептилий прекрасно приспособились к жизни в воде. К водным пресмыкающимся относятся плезиозав-



ры с длинной лебединой шеей, сравнительно коротким, сжатым с боков туловищем, и конечностями, превращенными в сильные, хорошо приспособленные для плавания ласты.



Рис. 3. Динозавры мелового периода среди саговых растений

Отряд змееобразных водных пресмыкающихся, появившихся в меловом периоде, представлен крупными формами, напоминающими по внешнему виду легендарных гигантских морских змей, но строение их скелета обнаруживает сходство с ящерицами. Наиболее распространенными из них являются мозазавры.



Реставрированный скелет мозазавра из меловых отложений Донбасса можно видеть в том же Геологическом музее им. Чернышева. Лучшее приспособление к водному образу жизни ихтиозавры, как показывает самое их название означающее в переводе «рыбо-



Рис. 4. Жизнь на дне юрского моря. Слева у дна и среди водорослей аммониты, на дне раковины плеченогих и двустворок, плавает большой плезавр. Справа на дне двустворки, среди водорослей рыба и несколько плывущих белемнитов, выше ихтиозавр и вдали плывущие акулы. В центре на дне морской еж, три морские лилии и брюхоногие моллюски

ящер» (рис. 4). Тело ихтиозавра, действительно, вполне напоминает своими очертаниями тело рыбы или дельфина, шея укорочена, конечности превращены в ласты, на хвосте и на спине имеются плавники, о чем можно судить по прекрасно сохранившимся отпечаткам этих форм из юрских отложений Германии.



Все водные рептилии вели хищный образ жизни. Были и хищники, приспособившиеся к полету в воздухе. Это представители отряда крылатых ящеров — птерозавров (рис. 5), из которых наиболее известны верхнеюрские птеродактили и гигантский меловой птеранодон. Они имели перепончатые крылья, натягивавшиеся не между всеми пятью пальцами, как у летучих мышей, а между одним непомерно разросшимся пальцем и туловищем. Самое название «птеродактиль» означает «палецкрыл».

Но кроме летающих ящеров в мезозое существовали и настоящие властители воздуха — птицы. Остатки первой известной нам птицы, получившей название археоптерикса (рис. 5) найдены в ломках литографского сланца близ местечка Золенгофен в Баварии.

Это была одетая перьями зубастая птица с длинным, как у ящериц хвостом, состоящим из многих позвонков. От каждого позвонка отходило по два пера. На крыльях сохранились по три снабженных когтями пальца, которые могли служить археоптериксу при лазании по деревьям, тогда как крылья играли, вероятно, роль парашюта при спуске на землю. Они не были еще так развиты и усовершенствованы как крылья позднейших птиц, например прекрасного летуна и хтиорниса, встречающегося в вернемеловых отложениях.

В строении археоптерикса соединяются признаки птиц и рептилий. Это, повидимому, указывает на то, что предков птиц надо искать среди древнейших рептилий.

В Золенгофенских каменоломнях найдено два экземпляра археоптерикса. Один из них хранится в Берлинском, другой в Лондонском музее. Сохранность их, особенно берлинского экземпляра, исключительная. Мы прекрасно можем изучить строение скелета и отпечатки перьев. Последние хорошо сохранились и у формы, хранящейся в Лондоне.

Кроме археоптерикса, в Золенгофенских каменоломнях найдены замечательные отпечатки и костные остатки птеродактилей, рыб, отпечатки ракообразных и различных насекомых. По возрасту золенгофенские сланцы относятся к концу юрского периода. Отложились они в мелководных лагунах коралловых островов.

В мезозое существовали и представители высшего класса позвоночных животных — млекопитающие. Правда, они были представлены наиболее примитивными формами из отряда сумчатых, которые в настоящее время сохранились, главным образом, в Австралии. Немногие представители их встречаются в Мексике и Бразилии. В верхнемеловых отложениях Монголии найдены остатки насекомоядных, из которых в нашей современной фауне сохранились еж, крот, землеройка, и немногие формы на островах Мадагаскаре и Кубе.

Сумчатые и насекомоядные мезозоя являлись мелкими формами, игравшими очень незначительную роль в тогдашнем животном мире, владыками которого были высокоспециализированные и приспособившиеся к различным условиям существования пресмыкающиеся.

Флора, появившаяся во вторую половину пермского периода, продолжает развиваться в мезозое, и важнейшими ее представителями являются саговые, хвойные и некоторые папоротники, а также вымершие впоследствии беннеттитовые и ныне почти вымершие гинкговые. Однако во второй половине мелового периода происходит новая смена флоры и начинают распространяться покрытосеменные растения, которые быстро становятся господствующей группой. К концу мелового периода эта новая флора получает очень широкое распространение.



Таким образом, если бы мы устанавливали наши хронологические подразделения на основании развития флоры, мы должны были бы провести границу между мезозоем и кайнозоем в середине мелового пе-



Рис. 5. Вид Золенгофенской бухты. По воздуху летит птерозавр (рамфоринх), гонящийся за стрекозой, на песке сидит археоптерикс

риода. Но, изучая эволюцию животного мира, мы проводим эту границу в конце мелового периода.

Грань между животным миром мезозойской и кайнозойской эр выражена гораздо резче, нежели грань между палеозоем и мезозоем. К началу третичного периода вымирает целый ряд характерных для мезозоя форм и прежде всего аммониты, белемниты и крупные реп-



тилии, из которых до настоящего времени дожил только отряд крокодилов. Мы справедливо можем называть крокодилов «живыми ископаемыми».

Вымирает ряд характерных для мезозоя двустворок и господствующее положение среди морских моллюсков занимают брюхоногие. Они особенно пышно развиваются в теплых морях, где раковины их и в настоящее время достигают крупных размеров и чрезвычайно разнообразной формы и скульптуры.

Среди позвоночных на смену вымершим рептилиям пышно развиваются млекопитающие. Временем их наибольшего расцвета является первый период кайнозоя, называемый третичным. Это «век млекопитающих».

Третичный период, особенно первая его половина, характеризуется теплым климатом, благоприятствовавшим широкому распространению новой флоры покрытосеменных растений. Среди представителей третичной флоры Европы мы находим, например, ряд форм, характерных теперь для тропических и субтропических областей, как пальмы, бананы, разнообразные вечнозеленые растения с крепкими кожистыми листьями, мирты, тропические дубы, лавры и др. (рис. 6). Прекрасные отпечатки нижнетретичных растений встречаются у нас в песчаниках небольших гор Уши на Волге близ города Камышина. Мы находим там представителей богатой субтропической флоры.

В течение третичного периода происходит развитие и изменение флоры, которое связано, между прочим, с изменением климатических условий. К концу третичного периода замечается сильное охлаждение климата, и мы видим, как, например в Европе, роскошные заросли пальм или леса тропических дубов и вечнозеленых растений сменяются хвойными лесами и травянистыми степями. Поясное, или зональное, распределение растительности, которое намечается и в начале третичного периода, становится особенно ярко выраженным к концу его, когда обособляется ряд растительных областей и поясов, различных по общему облику флоры.

С развитием флоры покрытосеменных растений связано и развитие разнообразных групп животных организмов. Бабочки, пчелы, жуки, отсутствовавшие в лесах палеозоя, в изобилии населяют леса и степи третичного периода. С миром третичных насекомых нас хорошо знакомят остатки их, прекрасно сохранившиеся в янтаре. Янтарь не что иное, как окаменевшая смола третичной янтареносной сосны, которая образовала в Европе большие лесные заросли в середине третичного периода. Насекомые, попадавшие в смолу, сохранились в ней в виде пустот, которые передают все детали строения погибших животных. Вместе с развитием насекомых развивались и новые группы в мире птиц, которые, как мы знаем, появились в юрском периоде.

С пышным развитием новой растительности был связан и пышный расцвет растительноядных млекопитающих и охотившихся за ними хищников. В начале третичного периода существует ряд оригинальных примитивных групп, как бы объединяющих в своем строении признаки нескольких отрядов и являющихся для них предковыми формами. В последующие эпохи третичного периода происходит дифференцировка и дальнейшее развитие этих отрядов. Благодаря многочисленным находкам костей млекопитающих в третичных отложениях, мы можем очень полно проследить историю развития некоторых групп и установить последовательные эволюционные ряды форм. Такие ряды прослежены, например, в развитии семейства лошадиных от их примитивного



пятипалого предка, жившего в начале третичного периода, до современной однопалой лошади. Установлены такие ряды для семейств носорогов, для отряда хоботных и ряда других.



Рис. 6. Пейзаж третичного периода (палеоген). Слева пальма сабаль среди папоротников и копытные ксифодонты. В центре на переднем плане тапирообразный палотерий; вдали предки современных лошадей и свинообразные херопотамы. Слева на переднем плане аноплогерни

Фауна Европы в третичном периоде была близка к современной фауне тропической Африки, но отличалась гораздо большим богатством и разнообразием форм.

В роскошных зеленых лесах, по берегам рек, заросшим пышной растительностью, бродили огромные хоботные, представители семейства носорогов, свинных, тапиров. Жирафообразные животные срывали листву



с высоких деревьев, обезьяны оглашали воздух своими криками. В травянистых степях второй половины третичного периода паслись табуны трехпалых лошадей, предков нашей современной лошади, и разнообразных антилоп, а также и верблюдов, примитивные представители которых встречаются уже в нижнетретичных отложениях Америки.

Современная фауна тропической Африки и Индии может дать нам только слабое представление об этом богатом, исчезнувшем мире третичных млекопитающих.

Одной из причин вымирания млекопитающих в конце третичного и начале четвертичного периода является резкое изменение климатических условий во время так называемой ледниковой эпохи.

Начало оледенения следует отнести к самому концу третичного периода, когда произошло первое наступание льдов. Более значительное развитие ледников наблюдалось в первой половине четвертичного периода, наступившего вслед за третичным. Обширные пространства Северной Америки, Европы и частью Азии были покрыты тогда ледяными щитами, подобными современным ледяным покровам Гренландии или Антарктиды. Во всех горных цепях земного шара наблюдалось развитие горных ледников, значительно превосходившее современное оледенение этих горных систем. Так, Урал, в северной части которого теперь существуют только незначительные, недавно открытые леднички, был на большом протяжении перекрыт льдами. Ледники Тяньшаня, Памира, Кавказа, Альп и других высоких хребтов достигали значительно больших размеров, чем в настоящее время, и даже в области тропической Африки чувствовалось похолодание, обусловившее большое развитие ледников на вершинах горного массива Рувендори и на высоких вулканах Кении и Килиманджаро. После наступания льдов в конце третичного периода трижды наблюдается особенно значительное распространение ледников, так что мы можем говорить о четырех фазах наступания льдов, разделенных тремя межледниковыми эпохами.

Это охлаждение климата оказало существенное влияние на развитие органического мира, обусловило вымирание целого ряда третичных животных и перегруппировку фаун и флор, зональное распределение которых стало особенно резко выраженным.

Большую роль в ускорении вымирания некоторых групп животных и в преобразовании характера фауны и флоры на значительных пространствах земного шара играет в последнее время человек. Достоверные остатки ископаемого человека известны только в четвертичных отложениях, но он, несомненно, появился уже в третичном периоде. Быстрая эволюция интеллекта человека позволила ему занять совершенно исключительное место среди других животных и произвести в этот краткий срок глубокое преобразование органического мира. Он уже уничтожил много животных своими усовершенствованными орудиями ловли и охоты. Других он приручил и превратил из диких в домашних, тесно связанных с его существованием и служащих его нуждам. Большие изменения вносит деятельность человека в характер и распределение растительности на земном шаре. Он вырубает леса и засеивает вырубленные пространства различными культурными растениями. При помощи искусственного орошения он превращает в цветущие сады и поля бесплодные пустыни. Акклиматизируя растения, он производит перегруппировки флор, имеющих зональное и областное распространение.

Влияние человека на дальнейшее развитие органического мира настолько велико, что наш известный геолог академик А. П. Павлов предложил выделить время его существования в особую антропозойскую



(«антропос» — человек) эру, несмотря на то, что эта «эра» является только последним кратким моментом в истории Земли.

Мы проследили очень бегло, в самых общих чертах, историю развития органического мира после эозоя.

Если об условиях появления первых организмов мы можем высказывать только те или иные предположения, если в эозое мы находим только следы ископаемых животных, то для палеозоя, как мы могли убедиться даже на основании нашего краткого обзора, можно уже дать яркую картину эволюции фауны и флоры. Еще более богатый материал сохранился в отложениях, являющихся памятниками мезозойской и кайнозойской эр. Все эти три эры мы можем подразделить на периоды с соответствующими им системами пластов, периоды — на эпохи, или отделы, эпохи — на века, или ярусы. Ярусы во многих случаях могут быть разбиты на еще более дробные подразделения — зоны, из которых каждая характеризуется своими руководящими окаменелостями.

Для каждой эры и для каждого периода нам удалось восстановить не только картину характеризующего их органического мира, но в общих чертах и картину распределения суши и моря, распределения горных кряжей и вулканических очагов, расселения животных и растений, распространения климатических зон.

Результаты этих исследований изображены на палеогеографических картах, которые для некоторых, наиболее изученных областей земной поверхности уже достаточно точны и детальны.

Та часть геологии, которая изучает прошлое Земли, или историческая геология, постепенно становится палеогеографией в полном смысле этого слова и позволяет нам нарисовать подробные и величественные картины давно минувших времен. И одной из наиболее интересных страниц в этой летописи прошлого является история горных цепей, возникавших и исчезавших на поверхности нашей планеты.

Однако геолог не довольствуется описанием тех процессов, которые происходили и происходят на Земле. Он хочет знать причины непрерывно совершающихся на Земле изменений, хочет объяснить происхождение тех сил, которые изменяют нашу планету и понять законы, которые управляют работой этих сил.

Силы, ведущие к возникновению и разрушению горных цепей, — это основные силы, управляющие всей физической жизнью земного шара. Поняв историю горных систем, поднимавшихся и исчезавших на поверхности Земли, мы поймем сущность всей истории нашей планеты. Поэтому изучение процессов горообразования является одной из самых интересных глав геологии.

Кроме того, эта глава нашей науки имеет и большое практическое значение: в недрах гор скрыты рудные залежи, месторождения драгоценных камней, пласты каменного угля и другие полезные ископаемые. Для успешных поисков этих горных богатств и для правильной их эксплуатации мы должны иметь представление об их происхождении и об условиях их залегания. Изучая историю возникновения и разрушения гор, мы знакомимся и с теми процессами, которые приводили к образованию и накоплению различных ценных руд и минералов. Знакомясь с внутренним строением гор, мы узнаем, в каких условиях залегают эти руды.

Попробуем же взглянуть глазами геолога на живописные громады горных кряжей, которые так влекут к себе ученых исследователей и путешественников, попробуем понять тайну их рождения и смерти.

---



## ГЛАВА ПЕРВАЯ

### Как разрушаются горы

**П**одниметесь с вами в сияющий солнечный день к высоким снежным вершинам. Из цветущих зеленых долин (рис. 7), с берегов озер и быстрых шумящих рек по горным тропинкам к тем голым зубчатым скалам, которые высятся над полосой ярких альпийских лугов. Пойдемте к голубым ледникам, неуловимо скользящим среди мрачных скал, и к ослепительным, сверкающим в лучах солнца фирновым полям<sup>1</sup> (рис. 8, 9). Там мы постараемся прислушаться к биению своеобразной и могучей жизни — жизни «мертвой природы», с которой так тесно связано существование человека.

Сядемте с вами на одну из тех больших каменных глыб, которыми усыпана поверхность ледника и посмотрим кругом. В тени, под навесом скал, куда с утра не заглядывали еще лучи солнца, стоит ночная прохлада. Камни холодны как лед, и вас насквозь пронизывает свежий воздух. Здесь еще сейчас чувствуется, как холодно было ночью на этих высотах, какой мороз сковывал эти скалы.

Зато там, куда падают солнечные лучи, — совсем тепло. Под их горячей лаской можно сидеть на поверхности ледника в одном легком платье.

Как ослепителен свет солнца в чистом воздухе горных вершин, как сильно накаляют его лучи поверхности камней и скал! Солнце является источником могучих сил, совершающих великую работу преобразования лица нашей планеты. В волнах своих лучей оно ежесекундно посылает на землю колоссальное количество энергии, которое измеряется 3 800 миллиардами лошадиных сил.

Какую же работу совершают на Земле эти могучие лучи света?

Прислушайтесь к тому, что происходит вокруг вас. Вот покатались вниз глыбы камня, увлекая с пути все большее количество обломков и поднимая облачко пыли. Это обвал. Почему он произошел? Что могло нарушить цельность каменных скал, нависших над ущельем? Это сделали лучи солнца. Днем, свободно проходя сквозь чистый воздух, окружаю-

<sup>1</sup> Фирном называется плотный, слежавшийся снег крупнозернистого строения, который образуется в котловинах среди горных вершин выше границы вечного снега. Фирн, постепенно уплотняясь, превращается в зернистый лед. Те котловины, где он скопляется, носят название фирновых полей. Они являются «областью питания» горных ледников.



щий горные вершины, они сильно накаляют каменные породы, из которых сложены эти вершины. Как известно, всякое тело при нагревании расширяется, увеличиваясь в объеме. Расширяются и скалы от теплоты солнечных лучей. Когда наступит ночь и потухнут последние отблески

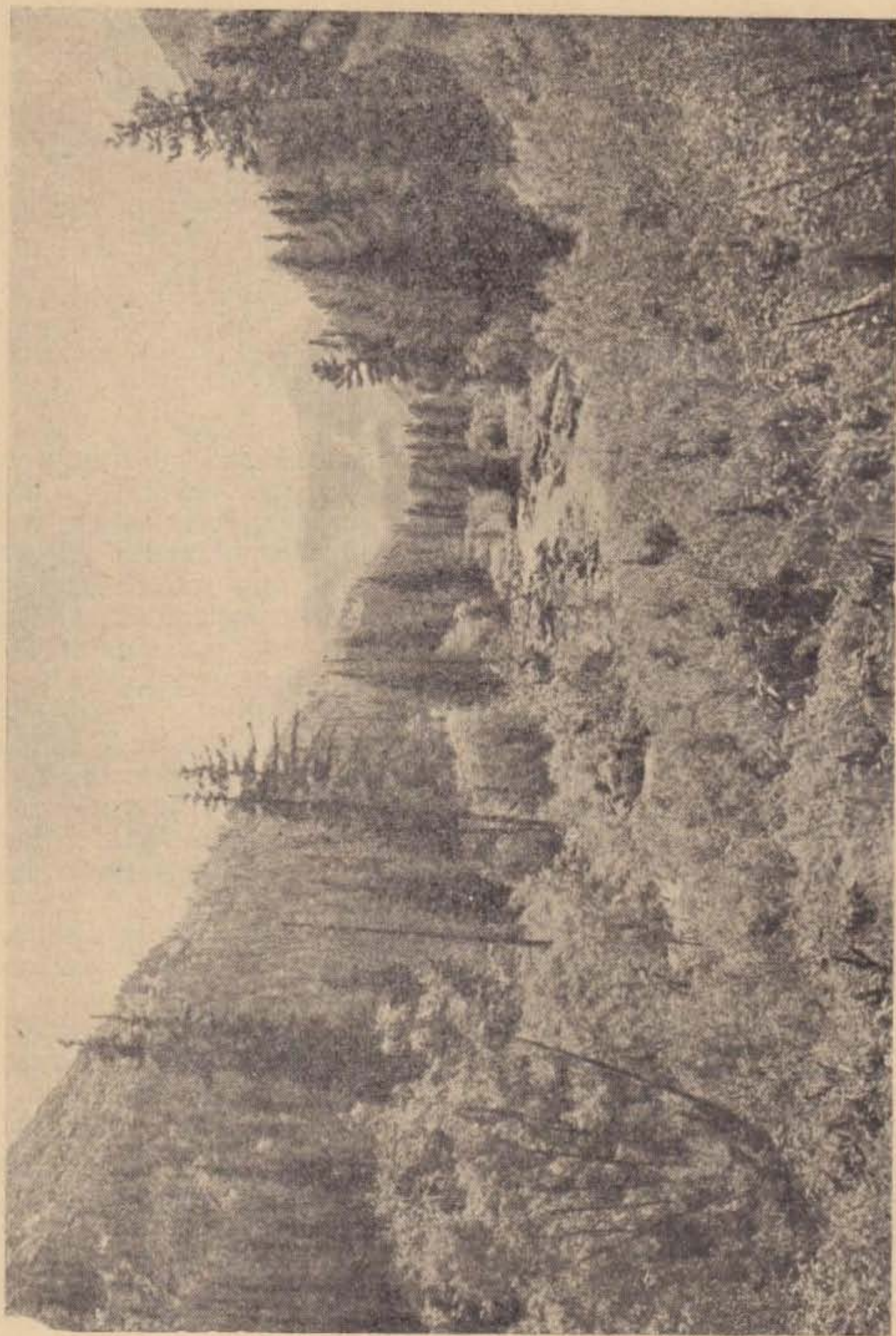


Рис. 7. Долина р. Кураган на Алтае

вечерней зари на фирновых полях, накопившаяся за день теплота быстро начинает излучаться обратно в атмосферу, и скалы подвергаются сильному охлаждению, сопровождающемуся сжатием слагающих их пород. Быстрому излучению теплоты опять-таки способствует необычайная чистота горного воздуха. Водяные пары и облака в атмосфере сильно задерживают тепловое излучение Земли, играя роль платя, предо-



хранящего тело от охлаждения. Всякий, кому приходилось ночевать на воле знает, как теплы бывают облачные ночи и как холодно спать под ясным звездным небом.

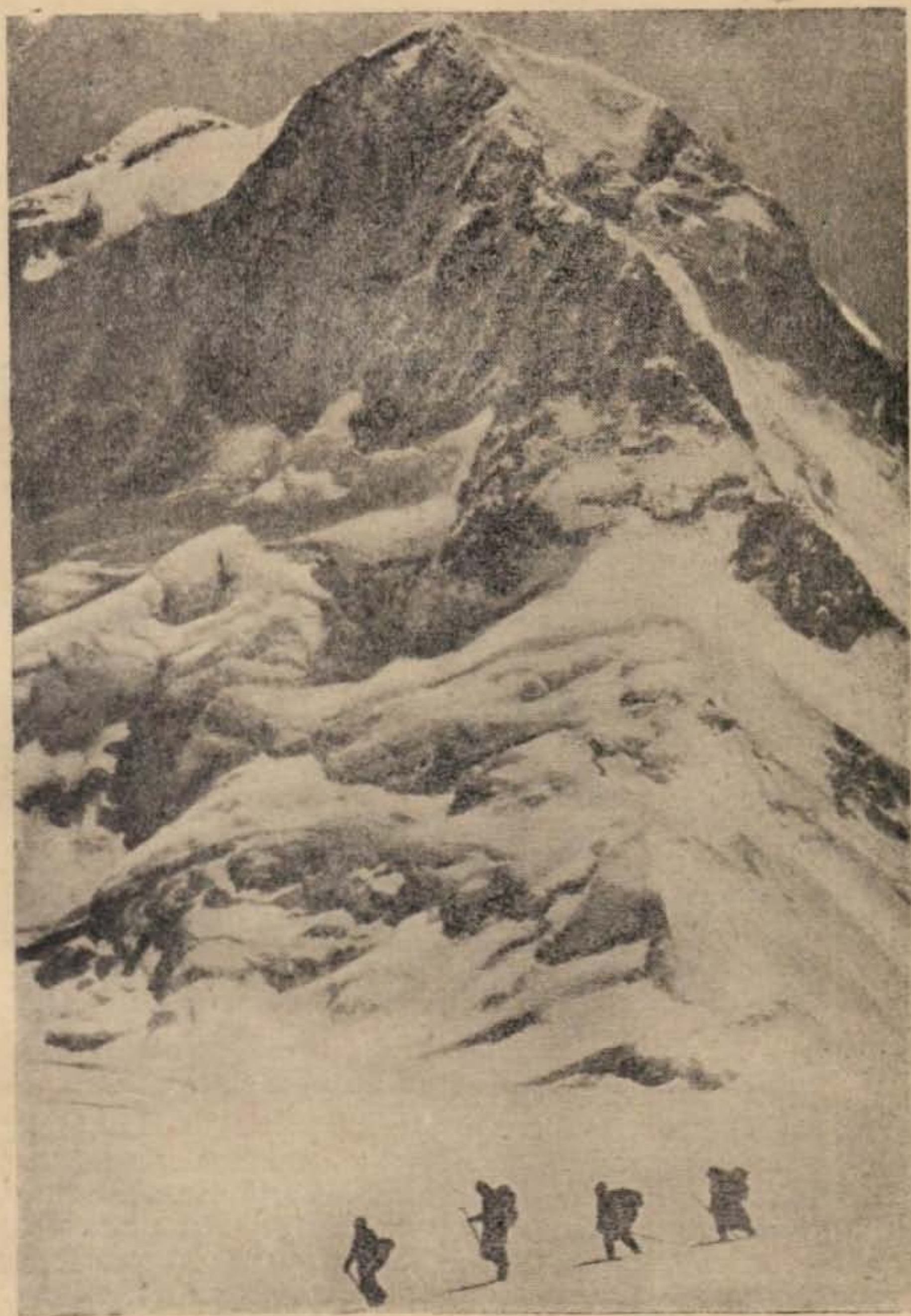


Рис. 8. Подъем на вершины Кавказских гор

Чем выше поднимаются горные вершины за пределы облаков, тем чище становится воздух, тем сильнее ощущаются резкие колебания ночной и дневной температуры, тем сильнее происходит расширение пород днем и сжатие ночью.

Эти последовательные расширения и сжатия в конечном итоге нарушают сцепление между отдельными частицами самых крепких каменных пород, и они покрываются с поверхности тонкой сетью трещин.



Вода, попадая днем в эти трещины и замерзая в них ночью<sup>1</sup>, способствует их постепенному расширению. В итоге порода разбивается на отдельные глыбы, связь между ними нарушается и, подчиняясь силе тяжести, они скатываются по склонам гор, образуя обвалы или медленно скользят и в конце концов скопляются у подножья склонов в виде мощных осыпей (рис. 10).

Этот процесс разрушения, искрашивания горных пород под влиянием колебаний температуры носит название **физического вывет-**



Рис. 9. Фирновые поля на вершинах Кавказских гор

ривания. Он происходит повсюду, но особенно широкие размеры принимает в тех местностях, где ощущаются сильные колебания температуры, как на вершинах высоких гор или в пустыне. Воздух пустыни, благодаря отсутствию испарений, отличается необыкновенной чистотой, способствующей сильнейшему нагреванию поверхности Земли днем и быстрому охлаждению ее ночью. Амплитуда, или размах температурных колебаний, достигает там иногда  $60-80^{\circ}$ . Поэтому все скалы, выступающие в пустынях, сильно выветрелы и иногда от одного довольно слабого удара молотка распадаются на мелкие обломки. Тот щебень, который покрывает поверхность так называемых **каменистых пустынь**, является не чем иным, как щебнем выветривания.

В северных странах и на вершинах высоких гор процессу выветривания способствует замерзание воды в трещинах породы, о котором уже говорилось выше. Этот тип физического выветривания называют иногда «морозным».

Физическое выветривание играет огромную роль в изменении зем-

<sup>1</sup> Как известно, вода, замерзая, превращается в лед, имеющий меньшую плотность и больший объем, нежели вода.



ного рельефа. Под влиянием этого процесса постепенно крошатся и понижаются горные вершины. Подчиняясь силе тяжести, щебень выветривания скользит и скатывается с высоких мест в места пониженные, заполняя впадины, и стремясь сгладить различия в высотах земной поверхности.

Конечным результатом этого процесса должно явиться выравнивание резких контрастов рельефа и разрушение горных цепей, которые постепенно погребаются под горами собственных обломков.

Нам известны горные цепи, засыпанные собственными продуктами разрушения. Среди обширных сухих пустынь Центральной Азии, в области пустыни Гоби, поднимается хребет Гурбан-Сайхан (или «Три пре-



Рис. 10. Осыпи в ущельи Арча-Баши в Алайском хребте.  
На переднем плане древняя морена

красных»). Когда-то он, вероятно, представлял собою высокую горную цепь. Но в настоящее время этот кряж сильно понижен, отдельные вершины его имеют причудливые зубчатые контуры, и все основание хребта засыпано продуктами разрушения этих вершин.

Пройдут еще долгие века — и на месте горной цепи будет расстилаться чуть всхолмленная равнина, или п е н е п л е н, как называют географы такую «почти равнинную» область, образовавшуюся в результате длительного разрушения горной страны.

Однако нужны неизмеримо долгие промежутки времени для того, чтобы процесс выветривания мог привести к подобным результатам. На пути к осуществлению своей конечной задачи — выравниванию земной поверхности — выветривание создает ряд изумительных и разнообразных форм рельефа. Все те причудливые очертания, которыми мы любуемся, глядя на горные вершины, те живописные зубцы и пики, которые составляют их главную прелесть, обязаны своим происхождением неравномер-



ному выветриванию каменных пород, слагающих горные цепи. Одни породы быстрее поддаются физическому разрушению, другие сильнее противостоят ему, причем каждой породе свойственны свои характерные очертания выветрелых вершин.

Сравним, например, общий облик той части Дагестана, которая сложена из известняков, с видами, открывающимися в области центрального хребта Кавказа, где высятся горы, сложенные преимущественно из метаморфизированных пород, называемых кристаллическими сланцами. Мы убедимся в различии форм выветривания, получающихся в том и другом случае. В известняках мы увидим массивные, ча-



Рис. 11. Зубчатые вершины Мон-Блана

сто плоские вершины и возвышенности с крутыми, нередко почти отвесными склонами и малым развитием осыпей. Для области сланцев характерны будут зубчатые гребни, острые вершины и сильное развитие осыпей, которое делает склоны более пологими.

Эти различия в очертании гор, сложенных из разных пород, ярко выступают и в области Альп. Возьмем для сравнения сланцевые вершины Бернского Оберланда с их характерными мелкозазубренными (рис. 11) гребнями и живописные массивные вершины «доломитовых»<sup>1</sup> Восточных Альп (рис. 12).

Наиболее причудливые и оригинальные формы рельефа получают там, где мы находим сочетание пород различной твердости. Если, например, жилы или дейки плотной изверженной породы<sup>2</sup> прорезают

<sup>1</sup> Доломитом называется известняк, содержащий известный процент углекислого магния. Сам известняк является углекислым кальцием.

<sup>2</sup> Изверженными называются породы, произошедшие благодаря застыванию расплавленной каменной массы, поднявшейся из более глубоких частей Земли, например лавы, вытекающей из вулканов при извержении. Если такая лава, поднимаясь по трещине земной коры, застывает, заполнив эту трещину, получается дейка.



рыхлые вулканические туфы<sup>1</sup>, эти последние будут поддаваться разрушению быстрее, чем крепкие дейки, которые в конце концов будут как бы отпрепарованы процессом выветривания. Они выступят в виде причудливых стен и башен над выравненной поверхностью, поражая глаз своими правильными очертаниями, напоминающими искусственные сооружения. Оригинальные формы выветривания можно видеть на вершинах Урала. Живописные природные развалины украшают, например, хребет Торре-Порре-Из в южной части Северного Урала. Вершина Торре-Порре похожа на сказочный город с пустынными улицами, зарос-

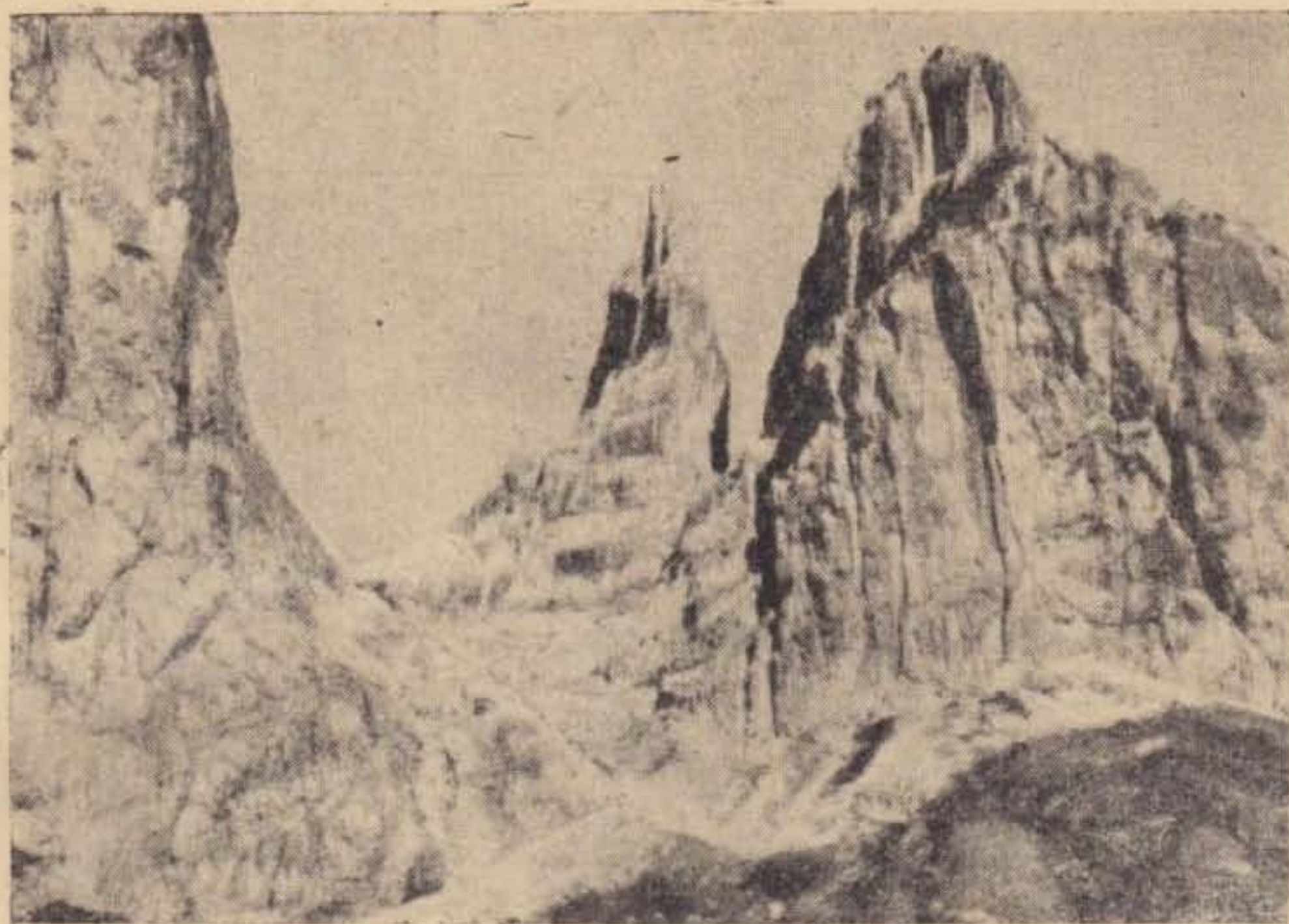


Рис. 12. Вершины в области Восточных „доломитовых“ Альп. Формы выветривания характерные для массивных известняков и доломитов

шими горными цветами и с живописными развалинами серых каменных зданий, подернутых пестрыми узорами лишайников. Улицы вытянуты с севера на юг, а окаймляющие их каменные стены разбиты широтными трещинами на отдельные дома и башни. Такое определенное расположение этих природных развалин обусловлено существованием правильной системы трещин в породах, слагающих хребет Торре-Порре-Из. Одни из этих трещин направлены с севера на юг, другие идут в прямо перпендикулярном направлении—с запада на восток. Самое возникновение трещин не связано с процессами выветривания. Об условиях образования таких правильно ориентированных трещин, или диаклаз, в породах, слагающих вершины гор, мы скажем несколько слов впоследствии. Сейчас укажем только, что процессы выветривания особенно легко идут по таким диаклазам, постепенно расширяя их и разбивая породу на отдельные глыбы и стены.

<sup>1</sup> Вулканическим туфом называется порода, получающаяся от скопления и позднейшего уплотнения рыхлых продуктов извержения—вулканического пепла и песка.



Иногда сохраняется одна какая-нибудь стенка, постепенно распа-  
дающаяся на отдельные столбы, вытянутые в один ряд. Такой ряд из  
семи высоких столбов можно видеть на вершине Болвано-Из, или Мань-  
Пупу-Нер<sup>1</sup>, в области истоков Печоры. С этой оригинальной вершиной  
связаны различные легенды. Манси, кочующие здесь со своими ста-  
дами северных оленей, рассказывают, что эти каменные столбы были  
некогда семью великанами-самоедами, которые шли через горы в Си-  
бирь, чтобы уничтожить народ манси. Но когда они поднялись на  
вершину, называемую теперь Мань-Пупу-Нер, их вожак — шайтан —  
увидел перед собой Яллинг-Нер—священную гору манси. В ужасе



Рис. 13. Столбы выветривания на вершине „Болвано-Из“ на Северном Урале

он бросил свой барабан, который упал на высокую коническую вершину,  
поднимающуюся южнее Мань-Пупу-Нер и называемую Койпом, что  
значит на языке манси барабан. И шайтан и все его спутники окаменели  
от страха.

У русских жителей Верхней Печоры эти столбы называются «бога-  
тырями», и с ними связывается сказание о семи братьях-богатырях, ока-  
меневших во время сражения с разбойниками (рис. 13).

Конечно все эти живописные столбы и развалины обречены на окон-  
чательное разрушение. Некоторые вершины Урала совершенно выравне-  
ны и покрыты сплошными «россыпями», т. е. оставшимися на месте об-  
ломками выветрелых скал; лишь кое-где поднимаются уцелевшие выхо-  
ды разрушенных каменных пород, как, например, одинокий столб причуд-  
ливых очертаний на гладкой вершине Хум-Войби-Актас в области исто-  
ков реки Лозьвы, изображенный на рис. 14.

Мы видим, что температурные колебания атмосферы являются  
могучим деятелем, преобразующим земную поверхность. Но в атмосфе-

<sup>1</sup> Болвано-Из означает на языке коми камень или «гора болванов». Болванами  
коми и русские называют деревянные изображения мансийских богов. Мань-Пупу-  
Нер означает на языке манси «малая гора идолов».



вестняка, и на месте его останется только скопление глины. Однообразным плащом ляжет этот слой глины в том месте, где некогда высились живописные известковые скалы.

Такие залежи глины, образовавшиеся на месте известняков, известны во многих местностях и, между прочим, у нас, в Среднем и Южном Урале, где они являются предметом разработки в качестве огнеупорного материала.

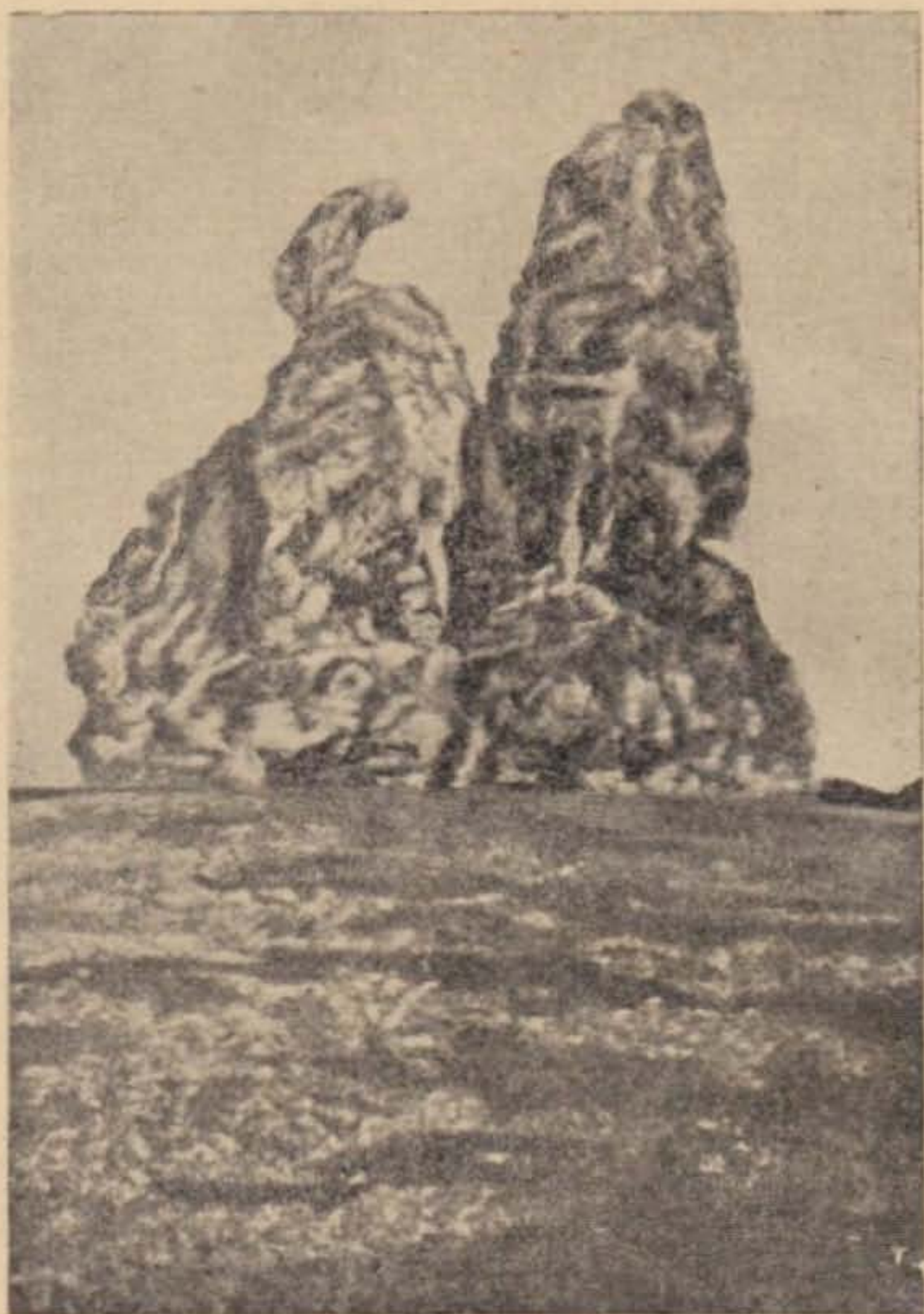


Рис. 14. Столб выветривания на вершине Хум-Войби-Актас на Северном Урале в бассейне р. Лозьвы

Кроме явлений растворения, вода производит еще процессы гидратации, заключающиеся в присоединении частицы воды к частице какого-нибудь другого вещества. Характерным примером гидратации может служить переход чистого сернокислого кальция, или минерала ангидрита, в гипс, который является водным сернокислым кальцием. На каждую частицу сернокислого кальция в гипсе приходится две частицы воды. Переход ангидрита в гипс сопровождается изменением внешнего вида минерала и увеличением его объема. Такие водные соединения носят название гидратов. Наиболее распространенная на земной поверхности руда железа—бурый железняк, или



ре имеются еще иные силы, значение которых не менее велико: это — силы химические, присущие газам воздуха и всегда содержащимся в воздухе водяным парам.

Атмосфера представляет собою механическую смесь нескольких газов: 78,03% ее по объему состоит из малодеятельного газа азота<sup>1</sup>; на 20,99% атмосфера составлена из кислорода, способного жадно соединяться со многими веществами, образуя так называемые окислы; 0,03% атмосферы по весу состоит из углекислого газа, который в присутствии воды переводит различные вещества в соли угольной кислоты, или углекислые соединения. Такой углекислой солью является, например, известняк, или, вернее, минерал<sup>2</sup> кальцит, из которого сложены толщи известняка. Кальцит представляет собой углекислый кальций, т. е. соединение легкого металла кальция с угольной кислотой (точнее с ангидридом угольной кислоты). Сода, которая находит себе разнообразное применение в жизни человека — не что иное, как углекислый натрий. Есть и ряд других природных и искусственных углекислых солей.

Водяные пары присутствуют в воздухе в различном количестве, в зависимости от климатических условий. Наконец в атмосфере обнаружено присутствие своеобразной группы так называемых благородных газов: гелия, аргона, неона, криптона и ксенона, не вступающих ни в какие соединения с другими веществами. Из них только количество аргона достигает 1% по объему. Общее же содержание остальных не превышает небольших долей процента.

Деятельными составными частями атмосферы являются кислород, углекислый газ и вода, или водяные пары. Они оказывают большое влияние на горные породы, слагающие земную кору, и вызывают в них ряд химических изменений, или химических реакций. Кислород, как указано, производит процессы окисления, столь характерные для земной поверхности. Благодаря этим процессам самородные металлы и различные их соединения, как например, часто встречающиеся сернистые соединения<sup>3</sup>, переходят в конце концов в окислы или кислородные руды. Окислы оказываются как бы более устойчивыми на земной поверхности в присутствии большого количества свободного кислорода.

Атмосферная вода переводит в раствор легко растворимые породы как, например, известняк, гипс или каменную соль. Под влиянием этого процесса могут быть выщелочены и уничтожены значительные толщи таких пород. Особенно большое разрушение происходит вследствие выпадения на земную поверхность атмосферных осадков, которые, просачиваясь сквозь толщи рыхлых пород или по трещинам твердых пород в глубину, дают начало подземным водам, ведущим энергичную химическую работу, особенно за счет растворенного в них углекислого газа.

Известняк всегда содержит в своем составе некоторую примесь глины, которая нерастворима. В результате длительных процессов растворения, весь углекислый кальций может быть вынесен из толщи из-

<sup>1</sup> Самое название азот означает в переводе с греческого «не могущий поддерживать жизни».

<sup>2</sup> Минералом называется естественное химическое соединение, получающееся в результате химических процессов, происходящих в природе.

<sup>3</sup> Многие из наиболее ценных руд различных металлов представляют собою такие соединения металлов с серой, как, например, свинцовый блеск, медный колчедан, железный колчедан, мышьяковистый колчедан.



лимонит, — не что иное, как гидрат окиси железа. Все другие соединения железа на земной поверхности стремятся перейти под влиянием кислорода и влаги воздуха, или под влиянием действия подземных вод, в бурый железняк, как наиболее устойчивую форму в данных условиях.

Вода, выпадающая из атмосферы в виде атмосферных осадков, так же как и вода, просочившаяся в почву, всегда содержит некоторое количество растворенного углекислого газа. Содержание углекислого газа повышает растворяющую способность воды, но кроме того вызывает и ряд более сложных химических реакций; угольная кислота разлагает различные минералы и переводит их в углекислые соединения. Характерным примером может служить процесс разложения полевых шпатов. Полевые шпаты являются существенной составной частью гранита и ряда других пород изверженного происхождения. Это розовые или серовато-белые минералы, которые придают граниту ту или другую окраску. Полевые шпаты имеют сложный состав, слагаясь из окиси кремния<sup>1</sup>, из окиси алюминия и из окисей легких металлов — кальция, калия или натрия. С химической точки зрения полевые шпаты можно назвать алюмокремнекислыми солями кальция, калия или натрия, т. е. солями сложной алюмокремневой кислоты. Эта кислота является деятельной в более глубоких частях земной коры, откуда приходят на поверхность расплавленные массы, образующие изверженные породы и где, как мы узнаем впоследствии, образуются породы метаморфические. Там, в глубине, алюмокремнекислые соединения устойчивы. Но на земной поверхности более деятельной оказывается угольная кислота. Она вытесняет алюмокремневую кислоту из ее соединений и переводит алюмокремнекислые калий, кальций, или натрий полевых шпатов в углекислые соли (поташ, кальцит или соду), которые уносятся в растворе. Освободившиеся окиси кремния и алюминия соединяются с водой и дают свободную алюмокремневую кислоту. Это не что иное, как чистая каолиновая глина. В некоторых случаях получается избыток окиси кремния, который тоже может перейти в раствор или сохраниться в глине, как примесь.

Глина получается обыкновенно в результате разрушения пород, содержащих полевые шпаты, как, например, гранит. В состав гранита входят три различных минерала: кварц, полевой шпат и слюда. Кварц или окись кремния устойчивый минерал, не подвергающийся изменению на поверхности Земли. Зернышки его освобождаются из породы в результате физического и химического разрушения гранита и дают скопления песка, тогда как из полевых шпатов образуется глина. Слюда довольно долго сохраняется как примесь в песке и глине, но в конце концов тоже переходит в глинистые образования.

На Украине известен целый ряд месторождений белой каолиновой глины, которые произошли в результате изменения гранитов, или химического выветривания, как называют геологи этот процесс химического воздействия атмосферы на горные породы. На Урале также известны залежи белых огнеупорных глин, явившиеся результатом химического выветривания не только известняков, но и различных изверженных или метаморфических пород, содержащих полевые шпаты.

Мы видим, таким образом, что в результате химического выветривания самые различные по первоначальному составу породы, как, например, гранит и известняк, дают в конце концов очень сходные, а в некоторых случаях прямо тождественные конечные продукты. Окислы

<sup>1</sup> Распространенный минерал кварц представляет собою окись кремния.



различных металлов и глинисто-песчаные отложения — вот те устойчивые образования, к которым химическое выветривание сводит все разнообразие выступающих на земной поверхности пород<sup>1</sup>.

Химическое выветривание не только изменяет состав пород на земной поверхности. В результате многовековой работы оно должно оказать свое влияние и на рельеф этой поверхности. Рука об руку с физическим выветриванием оно ведет к сглаживанию неровностей, к разрушению скал и горных вершин, покрывая однообразным плащом глинисто-песчаных образований основание срезанных возвышенностей.

На пути к осуществлению этой своей конечной задачи химическое воздействие атмосферы, также как и физическое выветривание, создает порою оригинальные формы рельефа, причудливые «фигуры разъедания», которые можно наблюдать в области распространения легко растворимых пород.

Тот, кому приходилось бывать на вершинах Крымской Яйлы, не мог не обратить внимания на оригинальный характер ее голой известняковой поверхности, на глубокие рытвины и острые гребни, которыми она изборождена, на воронкообразные впадины и глубокие шахты, которые там встречаются. Эти формы рельефа обязаны своим происхождением разъеданию известняка атмосферными водами. Это так называемые карры, получившие свое название от знаменитых карровых или шраттовых полей Швейцарии. На высоких известковых склонах у самой границы вечных снегов лежат эти причудливо источенные каменные поля, напоминающие собою фантастические города с лабиринтом узких, перекрещивающихся улиц (рис. 15). В выработке этих форм рельефа принимают участие и талые снеговые воды.

Выше, в области вечного снега и льда, химические процессы прекращаются и там происходит только механическое разрушение.

Мы видели, что химическая сила атмосферной и подземной воды и растворенных в ней газов воздуха является могучим геологическим деятелем. Но откуда же берется в атмосфере вода, при участии которой происходит большинство реакций, сопровождающих процессы химического выветривания?

Вода, находящаяся в воздухе, поднялась с поверхности моря, с озер, болот и рек благодаря испарению, происходящему под влиянием тепловой силы солнечных лучей. Все те же могучие лучи света, которые вызвали процессы физического выветривания, существенным образом способствуют и химическим реакциям, изменяющим поверхность Земли.

И наиболее сложные из химических реакций те, которыми обусловлена жизнь живых существ, тоже связаны со светом солнца. Без солнца не могут существовать зеленые растения, способные превращать минеральное, «мертвое» вещество в «живую», органическую материю. Растение питается газами воздуха и минеральными растворами, которые оно берет из почвы. Углекислый газ служит для питания растения, для создания тех тканей, из которых состоит растительный организм. Углекислый газ представляет собою окисел углерода, т. е. соединение

---

<sup>1</sup> Горной породой называются скопления одного минерала или закономерные сочетания (ассоциации) нескольких минералов, которые слагают значительные участки земной коры. Породы, состоящие из одного минерала будут называться простыми, а породы, слагающиеся из нескольких минералов — сложными. Примером простой породы является известняк, состоящий из минерала кальцита, гипс, каменная соль. Примером сложной породы может служить гранит, состоящий из трех главных породообразующих минералов: кварца, полевого шпата и слюды.



углерода с кислородом<sup>1</sup>. Растения способны разлагать его, выделяя кислород обратно в атмосферу и сохраняя углерод, который является необходимой составной частью органического вещества. Этот важнейший процесс усвоения углерода может происходить только при дневном свете, при участии солнечных лучей, благодаря содержанию в растениях особого зеленого вещества—хлорофилла.

Растениями питаются разнообразные растительноядные животные, которые в свою очередь служат пищей плотоядным. В конечном счете, жизнь на Земле обусловлена процессом усвоения углерода, для которого необходим свет солнечных лучей.

Оглянитесь вокруг. Вон на скалах виднеются узоры разнообразных лишайников. Среди камней, у самой границы снега расцветают весной яркие горные цветы: примулы, белые анемоны, розовые и лиловые рододендроны, а ниже расстилается полоса горных, «альпийских» лугов с мягкой зеленой травой и целым морем красивых разнообразных цветов. Еще ниже леса одевают склоны и долины всюду, где не вырубил их человек. Все это море зелени живет лучами солнца так же, как тот орел, который высоко парит в небе над вершинами гор, так же, как быстрая серна, убегающая от него по карнизам скал, или форель, резвящаяся в горных речках.

Животные и растения совершают большую геологическую работу. Они, вместе с рассмотренными выше атмосферными деятелями, способствуют разрушению горных пород и нивелировке земной поверхности. Корни растений, разрастаясь, расширяют трещины; скал и тем самым способствуют более быстрому распадению их на отдельные глыбы и обломки.

<sup>1</sup> Чистый кристаллический углерод мы встречаем в природе в форме алмаза. Разновидность кристаллического углерода с небольшой примесью железа, кремнезема и извести представляет собою графит. Значительный процент углерода содержится в каменном угле, особенно в антраците.



Рис. 15. Карровые поля Шабриер.  
(Верхние Альпы)



Кроме механического разрушения, растения оказывают и химическое действие на горные породы, выделяя те или другие вещества при своих жизненных процессах. Когда они отмирают, разложившиеся остатки их остаются в поверхностном слое земной коры, разрушенном и измененном выветриванием, который мы называем почвой. Эти остатки организмов и образуют тот перегной, от содержания которого зависит более или менее темный цвет почвы.

Кроме растений, в процессах разрыхления поверхностной части земной коры и в обогащении ее перегноем принимают участие и животные. Примером может служить альпийский сурок — грызун, который живет в полосе горных лугов и роет себе на склонах глубокие норы. В прежнее время в Савойе таких сурков часто обучали плясать под музыку, а потом носили и псказывали за деньги. Вырывая глубокие норы, сурок способствует разрушению почвы и проникновению в нее атмосферного воздуха и влаги. То же делают и другие роющие животные, как, например, кроты, суслики, землеройки. Немалую роль играют в этом отношении и дождевые черви, заглатывающие землю и пропускающие ее через свой кишечник, после чего она уже выбрасывается обогащенная органическим веществом. На каждом гектаре ежегодно до 20—25 тонн почвы проходит через пищеварительные органы дождевых червей.

Те изменения химического и механического характера, которые происходят в горных породах под влиянием жизнедеятельности организмов, называются органическим выветриванием. Большое участие в процессах органического выветривания принимают бактерии. В одном грамме почвы присутствует до 650 миллиардов бактерий. Они ведут свою разрушительную работу и на вершинах гор. Так, по наблюдению швейцарских геологов, скалы живописного Фаульгорна в Альпах буквально изъедены нитрифицирующими бактериями. Нитрифицирующими называются бактерии, способные вырабатывать азотнокислые и азотистокислые соединения. Азот они заимствуют из атмосферы, углерод — из углекислых солей почвы. Таким образом они могут создавать органическое вещество независимо от солнечных лучей и хлорофилла.

Преобразование углекислых соединений в азотно- и азотистокислые при помощи бактерий способствует разрушению горных пород, содержащих углекислые соли.

Процессы выветривания имеют громадное значение не только благодаря тому влиянию, которое они оказывают на рельеф. В результате совокупного действия химического, физического и органического выветривания получается тот измельченный, обогащенный перегноем поверхностный слой земной коры, который называется почвой, и который играет такую важную роль в жизни человека.

Не одни только процессы физического, химического и органического выветривания работают над разрушением гор. Вода, испарившаяся с поверхности морей, озер и рек в виде водяного пара, дает начало облакам, поднимающимся иногда так высоко над Землей. В конце концов она однако неизбежно возвращается на Землю или в виде потоков дождя или в виде легких снежных звезд. Дождь и снег — главные источники текучих вод суши. Разнообразные потоки, ручьи и реки, где бы они не брали свое начало — у края ли голубых ледников, в холодных ли родниках или топких болотах, — питаются атмосферными осадками<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Атмосферными осадками называется влага, выделяющаяся из атмосферы в твердом или капельно-жидком виде. Так мы будем называть атмосферными осадками дождь, снег, иней, град.



и находятся в тесной зависимости от них. Ледники берут начало в фирновых полях, на ослепительно белых горных вершинах, неистошимые снежные запасы которых постоянно пополняются новыми массами сне-



Рис. 16. Фирновые поля и ледники на вершинах гор Аляски

га, выпадающего из облаков (рис. 16). Болота питаются дождевыми водами, которые задерживаются на поверхности Земли непроницаемой глинистой почвой, а родники — не что иное, как выходы подземных вод, питающихся главным образом тем же дождем. Некоторая часть подзем-



ных вод может происходить за счет непосредственной конденсации парообразной влаги воздуха. Выпадая на землю там, где поверхностные слои земной коры сложены из водопроницаемых пород (как, например, песок или гравий), дождевая вода просачивается в глубину до тех пор, пока не встретит непроницающего ее далее водоупорного слоя. Таким слоем может явиться глина или плотный, нетрещиноватый камень. По этому слою подземные воды начинают просачиваться уже в горизонтальном направлении до тех пор, пока водоупорный слой



Рис. 17. Ледниковые ворота (ледник на Алтае)

не выйдет на земную поверхность где-нибудь на склоне горы или на склоне высокого берега речной долины. В этом месте и образуется родник.

Таким образом текущие воды суши обязаны своим происхождением атмосферным осадкам, в свою очередь порожденным тепловой силой солнечных лучей.

Текущие воды — один из могучих геологических деятелей. Чтобы понять значение и смысл их работы, чтобы узнать, как отражается эта работа на строении и жизни горных цепей, мы должны спуститься к самому краю ледника, к тому месту, где из голубых ледяных ворот шумно выбегает бурный и пенистый поток (рис. 17).

Тот, кто видел горный поток не может сомневаться в его могучей разрушительной силе. Тот, кто слушал рев Терека в Дарьяльском ущельи



или смотрел на стремительные воды Ардона в Кассарской теснине<sup>1</sup> поймет, какую великую работу может совершить вода, бегущая с высоких горных вершин к расположенным у подножья их долинам и берегам далекого моря.

Вода, сбегаящая по крутому склону, уже сама по себе обладает большой разрушительной силой. Эта сила усугубляется тем, что поток увлекает на своем пути все многочисленные обломки камней и скал, которые были подготовлены процессами выветривания. Перекатывая по дну своему эти большие и малые глыбы, поток при помощи их постепенно истирает свое ложе, все глубже и глубже врезается в тот склон, по которому он бежит, и пропиливает в нем узкое ущелье (рис. 18). Эта разрушительная работа, которую вода производит при помощи захваченного ею твердого материала, носит название речной эрозии.

Чем быстрее несется поток, тем больше его переносная сила, тем крупнее тот материал, который она может перекачивать, и тем грандиознее производимое им разрушение. Там, где сила падения воды уменьшается, она несет менее крупный материал, и энергии ее не хватает на значительное разрушение и на углубление русла. Почти вся сила тратится на перенос обломков. Наконец, река вырывается из горных теснин, выбегает в область прилегающих равнин или степей и подходит к берегу моря. В этом нижнем отделе реки медленное течение позволяет переносить только самый тонкий, взвешенный в виде мути материал; все остальное начинает отлагаться в виде отмелей и островов. Преобладанием процессов отложения в нижнем течении и объясняется обилие островов и мелей в низовьях рек и образование дельт<sup>2</sup>, созданных речными наносами.

Разрушение и унос материала в верхнем течении реки, перенос в среднем и отложение в нижнем характерны для вполне развитых или, как говорят, «зрелых» рек. Но мы можем представить себе потоки, работа которых отступает от этой схемы. Если горная цепь непосредственно обрывается к самому морю, сбегаящие в нее реки не имеют среднего и ясно выраженного нижнего течения. Производя на всем своем пути энергичное разрушение и унос материала, они как бы внезапно останавливаются в своей работе, шумно подбежав к берегу моря, и сразу «с разбега» сгруживают там весь принесенный материал, теряя здесь свою скорость и разрушительную силу и поглощаясь морскими водами. Это будут «молодые», бурно работающие реки. Примером их могут служить реки, сбегаящие в Черное море со склонов Кавказского хребта, как, например, бурная Мзымта, или реки восточного склона Анд, несущие свои быстрые воды в Тихий океан.

Есть и «старые реки», медленно протекающие в областях, превращенных в пенеплен. Они лениво переносят мелкий обломочный материал и отлагают его нередко во всех трех отделах течения, как, например, реки нашей Русской равнины или Западносибирской низменности.

Результатом работы текучей воды будет таким образом разрушение возвышенностей, расчленение их путем образования ущелий и до-

<sup>1</sup> Кассарское ущелье, по которому протекает река Ардон, что означает по-осетински «бешеная вода», находится на Кавказе по Военно-Осетинской дороге.

<sup>2</sup> Дельта — буква греческого алфавита, имеющая треугольную форму. Название «дельта» было дано устьевой области Нила, где река разбивается на рукава среди многочисленных островов, вдающихся в море. Общие очертания этой сети рукавов имеют треугольную форму. После название «дельта» стало нарицательным для всех устьев рек, дробящихся на рукава перед впадением в море, и наносящих между этими рукавами острова.



лин, унос обломочного материала с вершин и со склонов возвышенностей и отложение его в низинах. Все это ведет в конечном итоге к выравниванию земной поверхности.

Вода не работает одиноко. Ее деятельность всегда сочетается с работой выветривания. Мы видели, что физическое выветривание дает в распоряжение воды тот обломочный материал, при помощи которого она ведет эрозионную работу. Вместе с тем оно способствует расширению

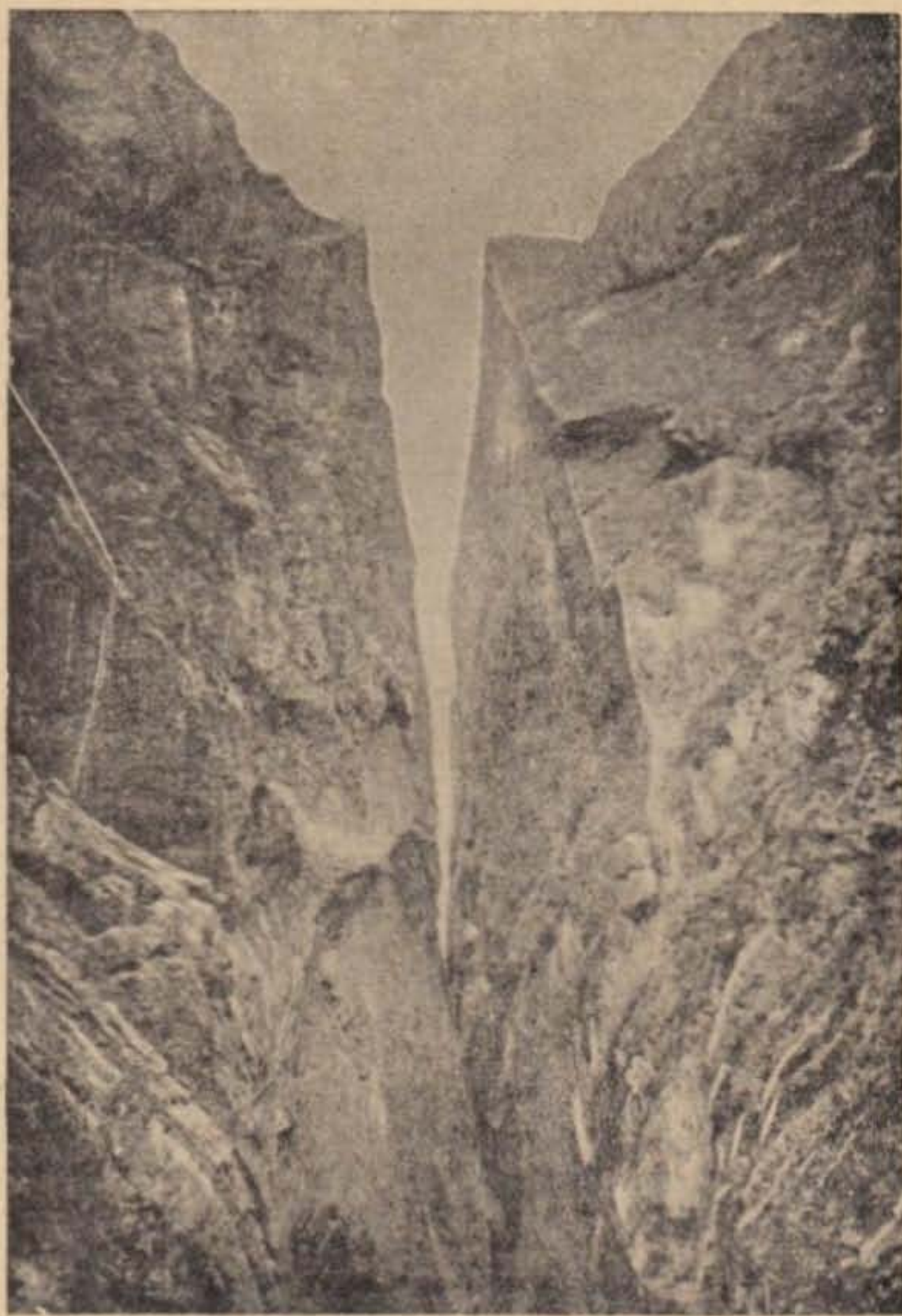


Рис. 18. Ущелье в Дагестане

долин и изменению их склонов, которые являются более отвесными или более пологими, в зависимости от характера пород и от большего или меньшего развития осыпей.

Следовательно форма долины реки изменяется в зависимости от состава пород. Там, где река врезается в пласты, легче поддающиеся размыву и физическому выветриванию, получают более широкие долины с пологими, покрытыми осыпями склонами. Эти осыпи имеют громадное значение в жизни человека. Они образуют измельченный, пригодный



для заселения растительностью и образования почвы материал, делают более пологими склоны долин и позволяют культивировать эти склоны, разбивать на них сады, возделывать поля, строить селения. Такой харак-

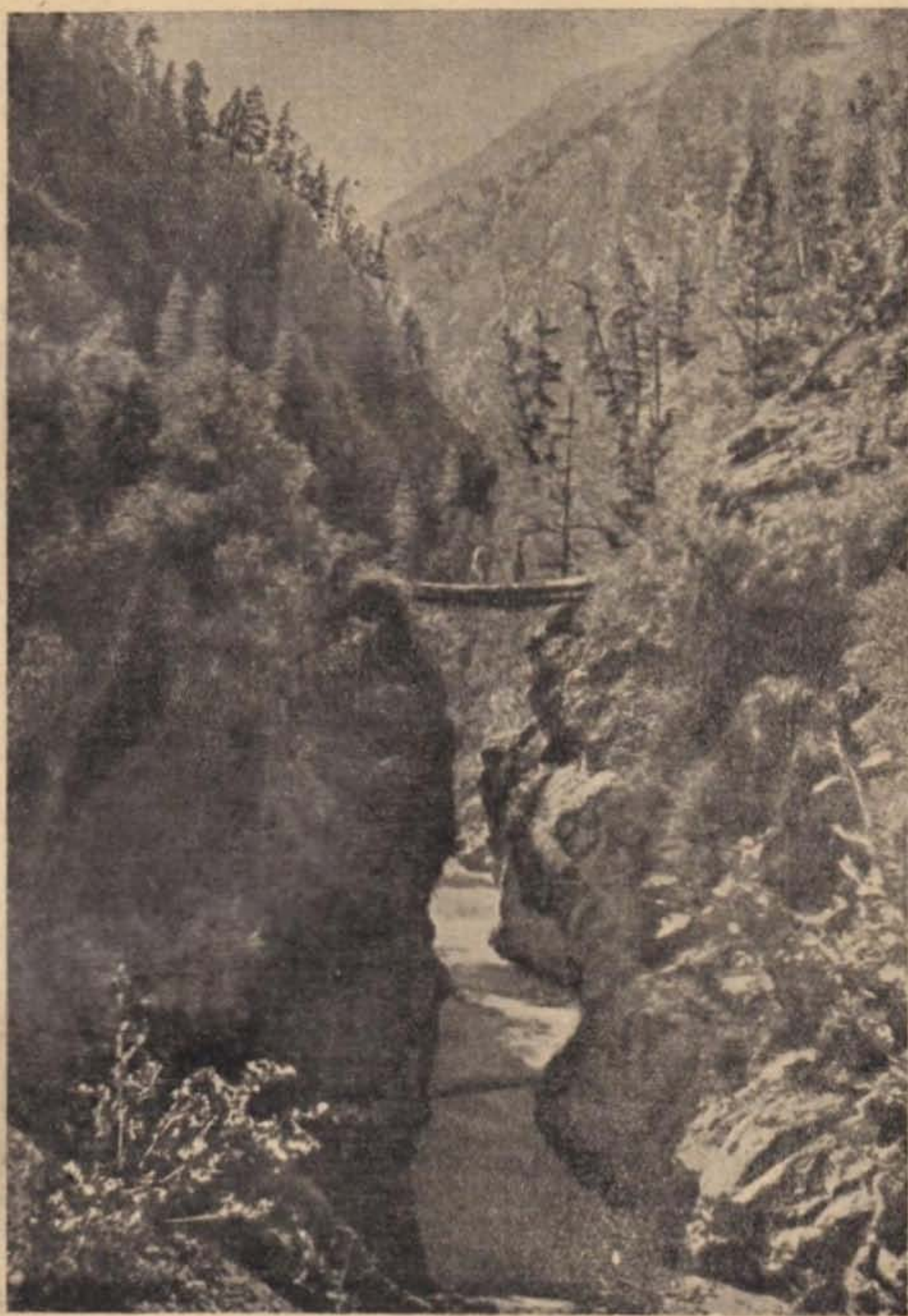


Рис. 19. Ущелье Сабакунн-Шеви на Кавказе (Дагестан)

тер имеют, например, долины или участки долин, вырытые в сланцах или глинистых породах. Наоборот там, где река встречает на своем пути твердые массивные породы, с трудом поддающиеся размыву и не дающие мелкого щебня выветривания, долина ее приобретает характер узкого ущелья, обрамленного отвесными, крутыми стенами (рис. 19). В таких



ущельях невозможна культура почвы и оседлая жизнь человека. Дикая и неприступная красота их сохраняется нетронутой и ненарушенной среди прилегающих густо заселенных участков долины, вырытых в легко размываемых породах.

Такие ущелья образуются в плотных изверженных породах, из которых как раз и сложены главным образом стены Дарьяльской теснины, а также в плотных известняках. В последних они особенно живописны. Благодаря растворимости известняка, вода быстро врезается в его толщу, образуя глубокие и узкие ущелья, склоны которых по большей части совершенно лишены осыпей и представляют собою крутые отвесные стены.

Реки, прорезающие горные хребты в поперечном направлении, встречаются на своем пути целый ряд различных пород, и потому долины их многократно изменяют свой характер. Очень ярким примером может служить долина Риона на протяжении от селения Они до Номохвани. Между Они и Алопани Рион течет в сланцах. Долина его широка, мягкие пологие склоны утопают в фруктовых садах и виноградниках, всюду виднеются поля маиса, цветущие селения раскинулись в тени садов. У Никарис-Дзири Рион перерезает гряду известняка, и характер его долины резко изменяется, особенно между станциями Меквены и Номохвани. Внезапно сближаются склоны долины в виде отвесных стен, поднимающихся из самой воды. Вы видите перед собою узкое дикое ущелье, до тысячи метров глубиною, безжизненное и безлюдное.

И эти резкие контрасты, эти живописные формы размыва созданы работой воды. Ей обязаны своим происхождением горные долины. А долины являются и местом расселения человека в горах и теми естественными дорогами, по которым с отдаленных времен возможно было передвижение человека через барьеры, созданные горными цепями между отдельными странами. И в настоящее время мы вдоль долин прокладываем через горы свои железные и шоссейные пути. Вместе с тем горные реки являются могучими источниками энергии, тем «белым углем», запасы которого более значительны и долговечны, чем запасы минерального топлива.

Нам ясно теперь, что расчленение горных цепей, распадение их на отдельные более или менее обособленные массивы и группы вызвано размывающей работой речной воды, или речной эрозией. И нам нетрудно представить себе тот конечный результат, к которому может привести эрозионная работа воды, продолжающаяся на протяжении многих веков. Все глубже и глубже будут врезаться речные долины в горный массив. Все уже и уже будут становиться водораздельные гребни между реками, бегущими с двух противоположных склонов. Процессы выветривания быстрее и легче станут разрушать и непрерывно понижать эти узкие гребни. Продукты разрушения, подхваченные водою, будут уноситься и отлагаться в далеких низинах. С течением времени когда-то высокая и могучая горная цепь разобьется на отдельные возвышенности с мягкими контурами, разделенные широкими речными долинами. Выветривание и размывание дождевыми водами, помогая работе эрозии, будут понижать эти возвышенности и превратят их в конце концов в невысокие холмы. Слабо всхолмленная равнина — пенеплен — вот, что раскинется перед нами на месте могучих каменных громад, поднимавших когда-то далеко за пределы облаков свои увенчанные снегом вершины.

И мы знаем горные страны, находящиеся на пути к подобному разрушению. Если мы поднимемся с вами на одну из вершин Северного



Урала и окинем взглядом открывшийся перед нами горизонт, мы увидим своеобразную картину. Куда ни кинешь взор, расстилается перед нами темное море лесов. Область предгорий сплошь одета ими. Лишь кое-где во впадинах речных долин будут выступать седые скалы, живописными стенами обрывающиеся к воде.

Дальше, темные и угрюмые, будут выситься самые вершины Урала, поднимающиеся над границею леса и покрытые сплошными осыпями и россыпями<sup>1</sup>, среди которых кое-где стоят причудливо выветрелые скалы.

Даже не знающий геологии путешественник поймет, что эти вершины, поднимающиеся над морем лесов, представляют собою обломки былого величия. И действительно, геология говорит нам, что на месте Урала поднималась некогда могучая горная цепь, выше облаков возносившая свои зубцы. Много миллионов лет протекло с тех пор, и работа разрушительных сил постепенно сносила с лица Земли эти грозные громады. Они еще не снесены окончательно, но от них остались одни развалины, и в настоящее время работа речной эрозии и процессы выветривания продолжают подтачивать эти «остатки» гор.

Теперь, стоя на краю ледника и глядя на выбегающий из-под него поток, мы уже дадим себе полный отчет о его геологической деятельности и значении. Мы знаем, что то красивое ущелье, по которому бежит поток, представляет собой его долину и создано его собственной работой. Мы знаем, что орудием этой работы являются те глыбы камня, тот песок и обломки, которые нагромождены у конца ледника и те камни, которые постоянно скатываются по склонам долины на дно ее. Весь этот обломочный материал подхватывается водою и уносится, постепенно истираясь и измельчаясь, далеко от родных горных вершин, чтобы отложиться в прилегающих равнинах и в конце концов быть снесенным в море.

Но откуда взялись те громадные кучи камней и песка, которые сгружены у конца ледника? Почему тут находится такое скопление обломочного материала, являющееся обыкновенно одним из наиболее трудных участков пути при восхождении на ледники? Этот каменный барьер, носящий название конечной морены, представляет собою результат работы ледника (рис. 20). Горный лед также является могучим геологическим деятелем, орудием преобразования земной поверхности и разрушителем тех горных громад, на вершинах которых он образуется из снежных залежей фирновых полей.

Ледник, медленно спускающийся под влиянием силы тяжести по склону горы, подобно воде, совершает тройного рода работу. С одной стороны, при своем неуклонном движении вниз, он постепенно истирает свое ложе и выпахивает себе своеобразную ледниковую долину. В этой разрушительной работе ему помогают те обломки, которые в результате процессов выветривания постоянно скатываются на его поверхность, образуя по краям его так называемые боковые морены (рис. 21). Часть этих обломков вмерзает в самый лед, и при помощи их ледник истирает и шлифует края своей долины. Скользя по своему ложу, ледник вбирает в себя и те обломки, которыми оно было покрыто, и образует подонную морену, при помощи которой отшлифовывается дно ледниковой долины. Переносимые льдом обломки горных пород, называемые валунами, не только служат орудием его разрушительной работы: они сами постепенно истираются, особенно валуны донной море-

<sup>1</sup> Россыпями называются на Урале те «моря скал», которые покрывают вершины и не двигаются вниз по склонам, подобно осыпям.



ны, на поверхности которых часто можно видеть борозды и шрамы, вырезанные твердыми выступами ледникового ложа.

Формы ледниковой эрозии резко отличаются от форм рельефа, созданных разрушительной работой текучей воды. Если бы мы могли под-



Рис. 20. Конечная морена одного из алтайских ледников

нять ледяную толщу и моренные скопления, заполняющие ледниковую долину, перед нами предстало бы мягко очерченное дно ее, выглаженное, как бы отполированное работою льда и покрытое многочисленными, параллельно вытянутыми в направлении движения ледника шрамами.



Эти шрамы вырезаны в каменной породе валунами поддонной морены. Они являются характерными свидетелями разрушительной работы льда.

Картины ледниковой эрозии лучше всего наблюдать в тех местностях, где некогда находились ледники и откуда они теперь отступили, благодаря изменению климата. Во время ледниковой эпо-



Рис. 21. Боковые и срединные морены на леднике Док-су на Кавказе

хи, предшествовавшей той последней эпохе геологической истории, в которую мы живем, могучие ледниковые покровы одевали область Финляндии, Кольского полуострова, Скандинавии, Северного Урала и распространялись в Западносибирскую низменность, северо-западную, среднюю, частью юго-западную и северо-восточную части Русской равнины и в области северной Германии, Голландии, Дании, Бельгии и большей части Великобритании. В те же времена ледники Швейцарии, Кавказа, Тянь-шаня и других хребтов земного шара имели гораздо большее распространение чем теперь, и спускались много ниже по склонам гор, не-



жели в наши дни. С окончанием ледниковой эпохи ледники отступили в горы и обнажили часть своего ложа.

Во многих местностях Альп можно видеть как бы отшлифованные округленные скалы, получившие название «бараньих лбов». Они были некогда покрыты толщей движущегося льда, придавшего им их характерную форму. Особенно наглядно можно наблюдать результаты ледниковой эрозии в так называемом «глетчерном парке» в г. Люцерне, где ясно видно гладко отполированное ложе бывших ледников со шрамами и лежащими кое-где крупными валунами (рис. 22).

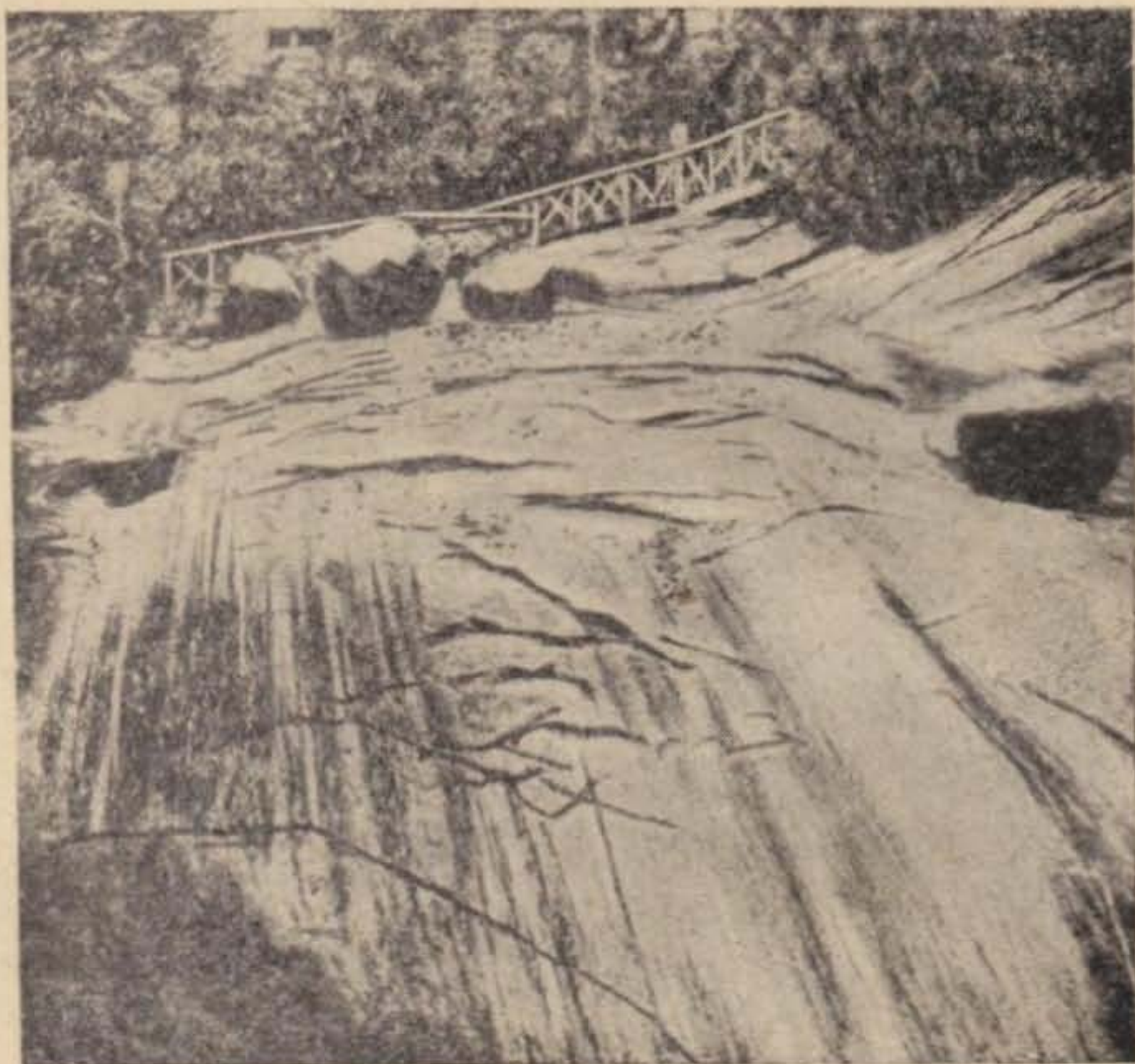


Рис. 22. Отполированное ложе бывшего ледника со шрамами и валунами («глетчерный парк» в г. Люцерне в Швейцарии)

На севере Европы великий ледниковый покров также оставил следы своей разрушительной работы в виде «бараньих лбов», которые встречаются среди скал Финляндии и покинутых ледниковых долин; такие долины нередко можно наблюдать в Скандинавских горах. Между прочим, живописные фиорды, которым обязано своей прославленной красотой Норвежское побережье, представляют собою покинутые долины ледников, затопленные волнами моря вследствие произошедшего опускания берегов.

Ледники ведут разрушительную работу на тех склонах, по которым они спускаются с горных вершин. Правда, эта работа не так значительна, как разрушительная деятельность текучих вод и совершается более медленно, но на протяжении долгих веков она приводит к заметным результатам.



Тем более могучей является переносная сила льда. Морены, покрывающие поверхность и края ледника и вмерзшие в его основание, медленно ползут вместе с ним вниз по ледниковой долине. Голубой лед уносит с собою и мелкие песчинки, и небольшие осколки камня, и громадные каменные глыбы — валуны, достигающие нескольких метров в поперечнике и многих сотен тонн веса. Такую тяжесть вода не в состоянии перенести, и в этом смысле лед является более могучим работником. Он увлекает с собою весь обломочный материал, попадающий на его поверхность с окружающих горных вершин.

Там, где ледник окончательно стаивает, весь этот материал сгруживается и образует конечную морену, являющуюся результатом отложения или созидательной работы льда. Это и будет тот каменный барьер, который всегда находится у конца ледника и по которому нелегко пробираться непривычным людям. Ряд древних, оставленных отступившим ледником конечных морен можно найти в горных долинах Швейцарии, Кавказа, Алтая и в других хребтах Европы и Азии. Древние конечные морены являются памятником более значительного оледенения этих хребтов во времена ледниковой эпохи. Сохраняются и наносы обширных ледниковых покровов.

В окрестностях Москвы, в старинных каменоломнях близ деревни Лыткарино можно было видеть следы разрушительной и созидательной работы ледникового покрова, одевавшего некогда самое сердце нашей страны. На плотном, крепком кварцевом песчанике, который добывался в этих каменоломнях, лежит толща морены с валунами, оставленная здесь отступавшим ледником. Когда подготавливали к ломке определенный участок каменной толщи, с поверхности песчаника в данном участке снимали морену и на этой обнаженной поверхности хорошо можно было видеть борозды и шрамы, вырезанные валунами морены на твердом камне.

Там, где длительно находился край ледникового покрова, накопились высокие валы конечных морен. Такие, прекрасно выраженные в рельефе, гряды каменных морен можно видеть, например, в Калининской области и в Финляндии.

Наносы ледников легко отличить от отложений рек и горных потоков. Вода всегда отлагает обломочный материал слоями и сортирует его по удельному весу. Отложения реки, или речной аллювий, представлены чередующимися слоями песка, гравия или глины. В моренах ледника без всякой сортировки свалены обломки самых разнообразных размеров. Мелкие песчинки и глинистые частицы могут быть отложены рядом с гигантскими валунами во много тонн весом (рис. 23).

Вода, получающаяся от таяния льда, производит сортировку и перетотложение этого материала и уносит мелкие частицы далеко от края ледника.

Мы видим, таким образом, что процессы выветривания, работа подземных и текущих вод и работа льда согласно «стремятся» срезать и сгладить горные цепи и создать на месте их однообразную, слабо всхолмленную равнину, или п е н е п л е н.

Но куда же поступает весь тот материал, который получается от разрушения могучих горных цепей?

Все продукты механического и химического разрушения континентов становятся в конце концов добычей океана и связанных с ним морей. Более крупный материал остается сначала у подножья гор, образуя осыпи, так же как остаются на месте более крупные валуны конечных морен. Но постепенно и эти крупные обломки измельчаются и захваты-



ваются водою рек и потоков, которые несут их в море. Этот геологический процесс ярко и красиво описан в известном стихотворении Лермонтова «Дары Терека»:

«Терек воет, дик и злобен,  
Меж утесистых громад,  
Буре плач его подобен,  
Слезы брызгами летят.

Но, по степи разбегаясь  
Он лукавый принял вид  
И, приветливо ласкаясь,  
Морю Каспию журчит:

«Расступись, о старец море,  
Дай приют моей волне.  
Поголял я на просторе,  
Отдохнуть пора бы мне.

Я родился у Казбека,  
Вскормлен грудью облаков,  
С чуждой властью человека  
Вечно спорить был готов.

Я, сынам твоим в забаву,  
Разорил родной Дарьял  
И валунов им, на славу,  
Стадо целое пригнал».

Принос обломочного материала реками можно наблюдать на любом морском побережье, но особенно очевиден этот процесс там, где в море впадают быстрые горные реки. Когда едешь, например, вдоль Черноморского побережья Кавказа, можно ясно видеть, как море меняет цвет у устья каждой сбегаящей с гор реки. Его прозрачные, зеленовато-синие волны становятся мутными, желтоватыми от мелких взвешенных в воде частиц, вынесенных в море реками. После выпадения больших дождей или во время сильного таяния снега в горах можно видеть, как увеличивается полоса мутной воды вдоль берега и как она широкими языками далеко вдается в море против устья каждой реки.

Там, где реки впадают в замкнутые моря, лишенные приливов и сильных береговых течений, обломочный материал сгруживается у устья, вдаваясь в море в виде ряда островов, между которыми река дробится на большее или меньшее количество отдельных рукавов. Это — так называемые дельты, о которых мы говорили выше. Хорошо развитые дельты образуют, например, Волга, Урал, Терек и Нил.

Реки, впадающие в океан, в большинстве случаев не имеют дельт. Устья их представляют собою широкие раструбы, или эстуарии. Весь обломочный материал, приносимый этими реками, подхватывается береговыми течениями или относится в открытое море волнами отлива. Так, например, полноводная Амазонка в Южной Америке несет огромное количество обломочного материала с громадной площади, занятой ее бассейном. Но эта река не имеет дельты.

Вдоль по восточному берегу Южной Америки проходит сильное береговое течение. Оно захватывает муть, принесенную Амазонкой в океан и отлагает ее в виде широкой полосы морских иловатых отложений севернее устья реки.

Если мы посмотрим на карту распределения морских осадков, то увидим, что все материки окружены более или менее широкой каймой таких иловатых отложений земного, или терригенного<sup>1</sup>, происхож-

<sup>1</sup> От латинского слова «терра» — земля.



дения. У самых берегов отлагается более крупный материал, песок и галечник, который выносится реками или получается от разрушения берега ударами морских волн.

Ведь море само может вести разрушительную работу у своих берегов. Там, где прямо в воду обрываются высокие скалы, как, например,

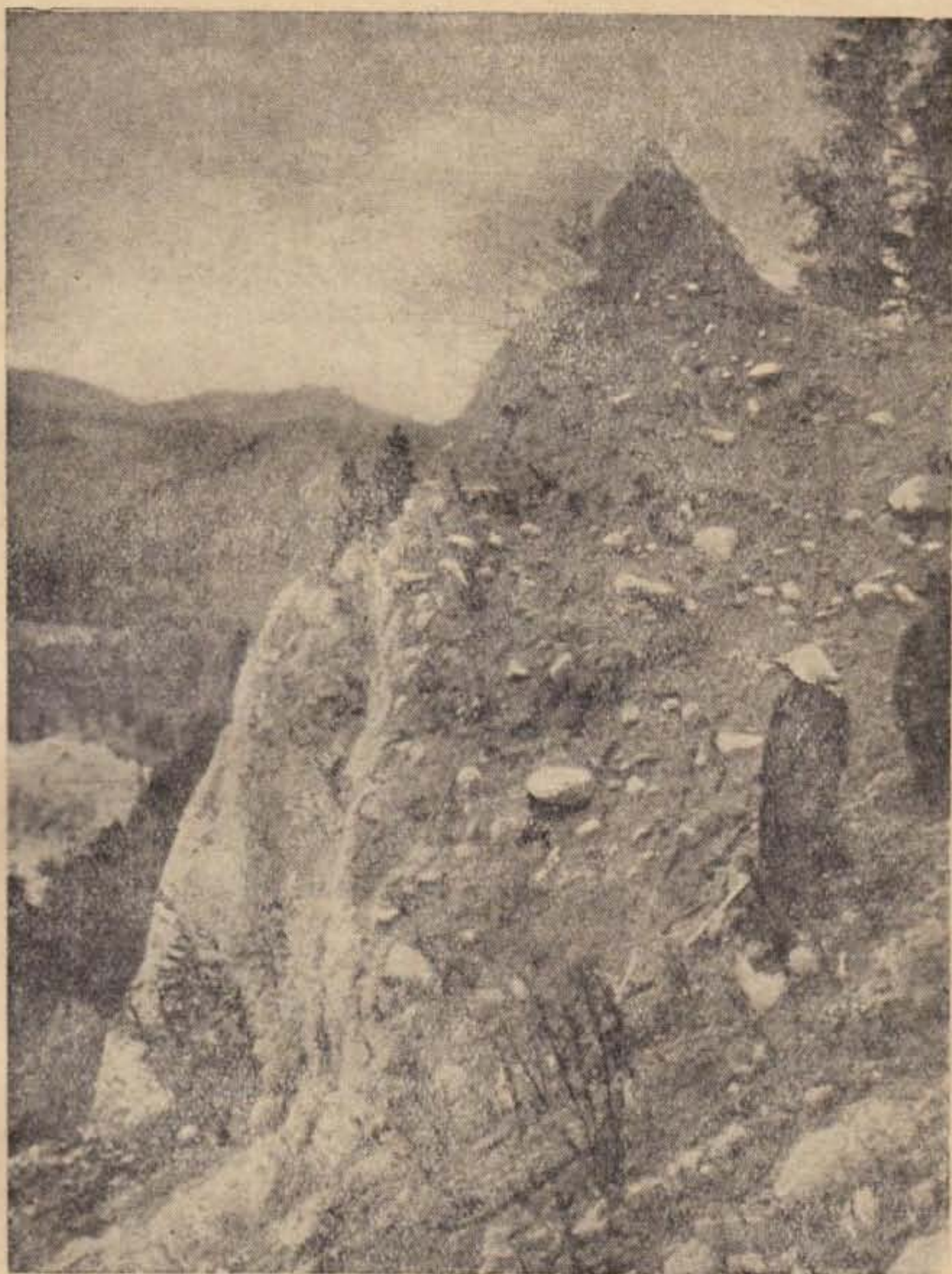


Рис. 23. Морена древних ледников на Алтае (столбы на р. Катунь)

у нас в Крыму, у мыса Фиолент или у живописного массива Карадаг, можно видеть как волны разрушают эти скалы, вытаскивая в них живописные гроты, арки и ворота (рис. 24). Разрушение это производится с помощью обломков, падающих со скал в результате их выветривания, причем самые эти обломки истираются, шлифуются и превращаются в гладкую морскую гальку — характерное отложение моря у крутых берегов.

Там, где нет прибрежных гор и скал, береговым осадком является песок. Такие песчаные прибрежные отложения мы можем видеть в том же Крыму, у плоских низменных берегов Евпатории, которая славится



на все Черное море своим песчаным пляжем (пляж—намытый береговыми волнами отлогий наносный берег).

Самый тонкий ил уносится дальше в открытое море течениями и волнами отлива. Он осаждается преимущественно на глубине большей, чем 200 метров.

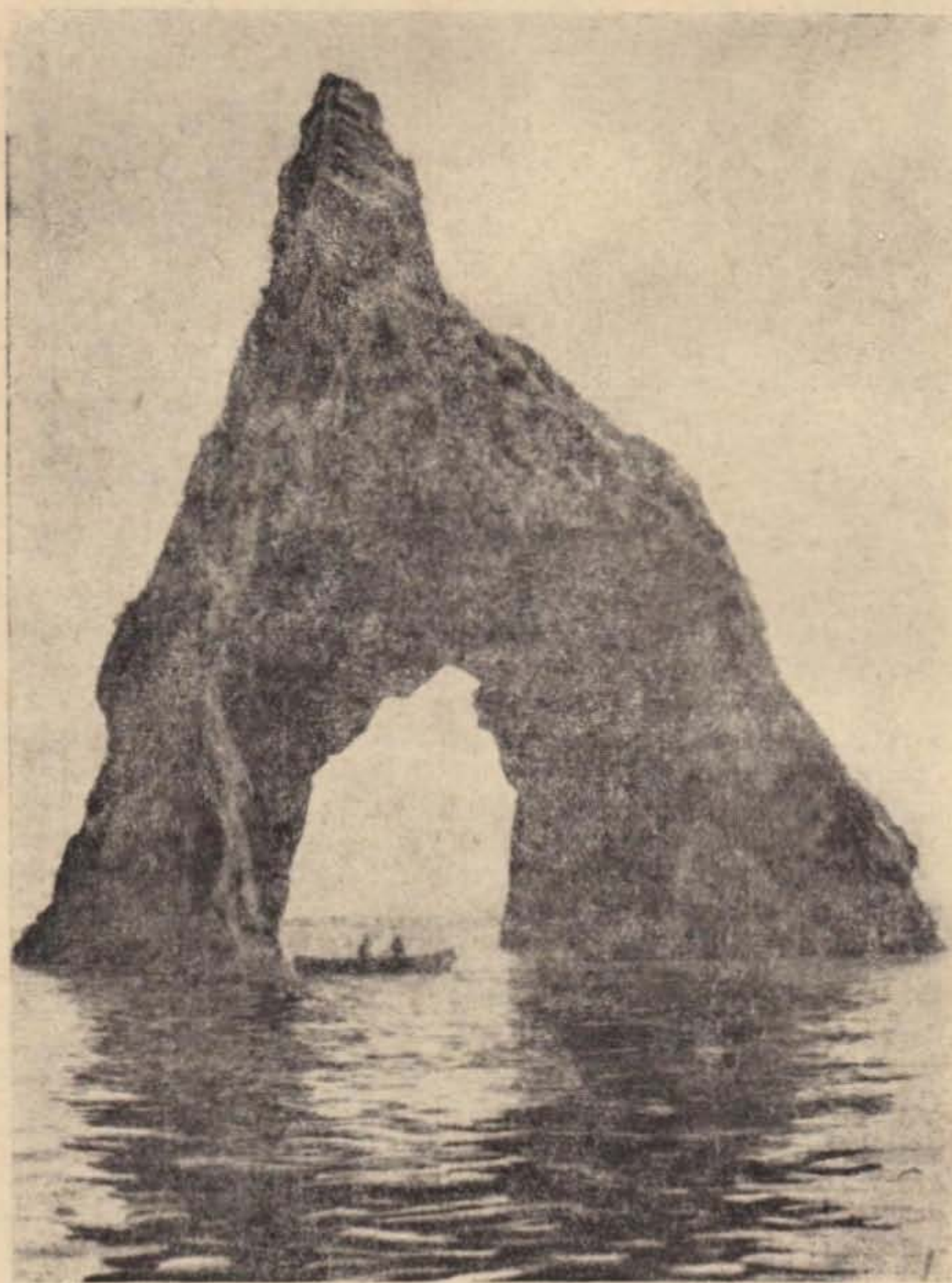


Рис. 24. „Золотые ворота“ у Карадага в Крыму

Мы видим, таким образом, что по характеру осадка можно судить об условиях его отложения. Любимое занятие детей, играющих на розоватом, «бархатном» пляже берегов Евпатории, это сбор морских раковин, обломки и целые скорлупки которых в изобилии примешаны к песку. В некоторых случаях могут отлагаться в море сплошные скопления таких раковин, образующие разнообразные морские ракушники. Это



будут осадки органического, или органогенного, происхождения. В теплых морях встречается особенно много организмов, выделяющих известковые скелеты и панцыри, как, например, кораллы, морские ежи, морские звезды и разнообразные моллюски, живущие в красивых пестрых раковинах. Есть там и водоросли, выделяющие известь. Эти разнообразные известковые образования скопляются на дне моря, образуя отложения органогенного происхождения. Особенной мощности достигают известковые сооружения, построенные кораллами, или коралловые рифы.

Все перечисленные выше организмы живут в относительно мелкой полосе моря—там, где дно его еще достаточно освещено и прогрето солнечными лучами. На дне глубокого открытого моря, куда не доносятся уже терригенные материалы, куда не проникают солнечные лучи, благодаря мраку и холоду нет растений и нет богатой придонной фауны выделяющих известь организмов. Там отлагаются другие осадки: разнообразные глубоководные органогенные илы. Они образуются из скоплений микроскопически мелких раковин и панцирей различных организмов, плавающих на поверхности моря и падающих на дно его после их смерти. Эти скелеты могут быть известковыми, как, например, скелеты корненожек, или крошечных так называемых крылоногих моллюсков, или же кремневыми, как скелеты микроскопических диатомовых водорослей или изящных «лучевиков» — радиолярий. В зависимости от того, какие органические остатки преобладают в том или другом из этих глубоководных отложений, различают диатомовый, радиоляриевый, птероподовый<sup>1</sup>, глобигериновый (по распространенной форме корненожки — глобигерина) и другие илы. Известковые глубоководные илы преобладают в теплых широтах, кремневые, как, например, диатомовые—в холодных морях. Кроме того с известной глубины (3 000 м) известковые осадки не могут накапливаться, так как благодаря содержанию углекислоты в морской воде на больших морских глубинах происходит растворение извести.

В этих темных холодных глубинах океанических бассейнов происходит отложение радиоляриевого ила, а с глубины 4 000—5 000 метров медленное накопление своеобразного осадка, получившего название красной океанической глины.

Материалом для накопления этого осадка служит, главным образом, пыль, всюду носящаяся в атмосфере и выпадающая как на поверхности материков, так и на поверхности океанов.

Эта пыль может состоять из мельчайших частиц, получившихся при процессах выветривания пород на континентах. Такая пыль подхватывается воздушными течениями—ветрами—и выносятся ими за пределы материков. Примером может служить «пассатная» пыль, разносимая воздушными течениями в области Атлантического океана и принесенная сюда из пустыни Сахары. На выпадание этой пыли в океане обратил внимание еще Чарлз Дарвин, во время своего путешествия на корабле «Бигль», в которое он отправился как геолог. Дарвин правильно объяснил происхождение этой пыли.

Кроме пыли земного, или терригенного, происхождения, в атмосфере носится тончайшая вулканическая пыль и космическая, получающаяся от распыления метеорных камней, ежедневно врывающихся в нашу атмосферу. Лишь небольшой процент этих метеоритов достигает поверхности Земли не распылившись.

<sup>1</sup> Птероподы — крылоногие.



Терригенная вулканическая и космическая пыль служат главным материалом для образования красной океанической глины на глубинах больших, чем 4 000 — 5 000 метров.

Конечно, эта пыль всюду выпадает над океанами и континентами. Но в более мелководных частях моря, где в изобилии накапливаются другие осадки, примесь ее незаметна. На глубинах от 3 000 до 5 000 метров отлагается радиоляриевый ил уже с большей или меньшей примесью красной океанической глины. Отложение известковых илов происходит на глубинах от 1 000 до 3 000 метров.

Мы опять видим тесную зависимость между характером осадка и условиями его отложения. Характер отложенного материала и содержащиеся в нем организмы определяют так называемую ф а ц и ю морского осадка. Различают, например, фации коралловую, галечную, песчаную, фации радиоляриевых ила, глобигеринового ила, красной океанической глины и т. д.

Но откуда же берут морские организмы те минеральные вещества, которые необходимы для постройки их скелетов? Вы знаете, конечно, что морская вода соленая. В ней растворена не только поваренная соль, которую она содержит в особенно большом количестве, но и целый ряд других солей. Углекислый и сернокислый кальций, содержащийся в морской воде, используется организмами для постройки известковых скелетов, а диатомовые водоросли берут необходимый для их панцирей материал из частиц глины, которая долго остается взвешенной в воде холодных полярных морей.

Соли, растворенные в морской воде, принесены в нее водою рек и являются продуктом химического разрушения континентов. В речной воде тоже растворены различные соли,— правда, в значительно меньшем количестве, чем в морской. Но с незапамятных времен несут реки в море эти слабые растворы солей. Морская вода испаряется, дает облака и чистую воду дождей и снегов. Дождь и снег порождают текущие воды суши и возвращаются обратно в море в виде речной воды уже несущей некоторое количество солей. Благодаря непрерывно совершающемуся круговороту воды в природе, непрерывно пополняется запас солей в океане и за многие миллионы лет его существования количество солей в океанической воде легко могло достигнуть того процентного содержания или той концентрации, которую мы наблюдаем в настоящее время. Таким образом, в конце концов и органогенные осадки мы могли бы назвать терригенными, так как растворенные в морской воде соли, которые дали материал для образования этих осадков, представляют собою продукт разрушения материков.

То же мы могли бы сказать и о третьем типе морских отложений— о так называемых х и м и ч е с к и х осадках. Они представляют собою морские соли, осевшие из морской воды в заливах, лагунах или отделившихся от моря соленых озерах. Такое осаждение может происходить в условиях сухого, жаркого климата при усиленном испарении. Таким путем могут осаждаться гипс, поваренная соль и некоторые другие соли, среди которых особенно интересны сернокислые и хлористые соли калия, представляющие ценное минеральное удобрение. Мы можем сказать, что все продукты разрушения континентов и поднимающихся на них гор рано или поздно погребаются в море.

Правда, есть так называемые бессточные области, в большинстве случаев сухие и пустынные, воды которых не имеют свободного выхода к океану. Такими бессточными областями являются пустыня Гоби, наши среднеазиатские пустыни, бассейн Волги, которая впадает в замкнутое



Каспийское море, часть африканских пустынь Сахары и Калахари и др. Продукты разрушения гор скопляются в этих областях, частью погребая под собою развалины разрушающихся хребтов, частью выносясь реками и временными потоками в наиболее пониженные районы бессточных областей.

Но некоторая часть продуктов выветривания находит себе выход к океану и из этих замкнутых, бессточных областей. Их выносит оттуда геологический деятель, о котором нам не пришлось еще говорить, а именно — ветер.

Ветры порождаются теплотою солнечных лучей, которые неравномерно нагревают поверхность Земли, а вместе с тем и воздух. Там, где воздух сильнее нагревается, он расширяется, становится легким и поднимается вверх. Это вызывает приток холодного воздуха на его место. Такие горизонтальные течения воздуха мы и называем ветрами. Как все другие геологические деятели, черпающие свою силу в энергии солнечных лучей, ветер стремится сгладить неровности земной поверхности. Однако он не везде может проявить свою силу.

Работу ветра лучше всего наблюдать в пустыне, где поверхность Земли не одета растительным покровом, где почти не работает вода и где энергичным выветриванием подготовлено огромное количество обломочного материала, поступающего в распоряжение ветра. Ветер подхватывает песчинки и мелкие камешки, переносит их на большее или меньшее расстояние и с помощью их ведет свою разрушительную работу: истирает и шлифует возвышенности и скалы, встречающиеся на его пути; этот процесс носит название *к о р р а з и и*. Там, где попадаются на пути ветра рыхлые, мягкие породы, он просто выдувает и развеивает их. В пустыне ветер является могучим работником, и мы знаем горные цепи, которые почти до основания разрушены процессами выветривания и развеяны ветром.

Помимо переноса и разрушения, ветер, как и другие рассмотренные нами геологические деятели, производит отложение материала. Те песчаные холмы или *б а р х а н ы*, которые как волны поднимаются на поверхности бесплодной Гоби, Сахары или наших закаспийских Кара-кумов и Кызыл-кумов, представляют собою материал нагроможденный ветром. Этот материал остается в пределах бессточных областей. Он только перевевается и пересыпается ветром, что обуславливает медленное поступательное движение барханов. Но есть и более мелкие продукты разрушения—тонкие пылевые частицы, которые могут перевеваться ветром через хребты, окружающие пустыню, и уноситься далеко за их пределы. Там, где ветер стихает или там, где вследствие большей влажности климата дожди очищают атмосферу, пустынная пыль осаждается в виде своеобразной породы желтого цвета, называемой *л ё с с о м*. Такими толщами желтого лёсса, принесенного ветром из Гоби, покрыты юго-восточные провинции Китая. «Желтая» река Хоан-Хо размывает эти толщи и выносит этот материал в «Желтое» море. Так косвенным путем часть продуктов разрушения горных цепей пустыни все-таки попадает в воды океана.

Мы рассмотрели работу разнообразных геологических деятелей, источником силы которых является тепловая энергия солнечных лучей. Все эти деятели носят название *внешних, или экзогенных*. Мы видим, что их работа сводится к уничтожению неровностей на земной поверхности и к созданию пенеплена. Большую роль в этих процессах выравнивания рельефа играет сила тяжести. Она заставляет воду течь вниз с горных вершин. Под влиянием этой силы ползут по склонам осыпи и



двигнутся ледники. Она же заставляет опускаться на дно океанов и морей раковинки корненожек или песчинки и глинистые частицы, взвешенные в воде, и заставляет падать на Землю материал, переносимый ветром.

Мы знаем теперь, как могут быть уничтожены и стерты с лица Земли горные цепи. Мы знаем, что горы не вечны. Но когда и как создались они? Из чего они построены и какие силы могли поднять их вопреки непрерывной разрушительной работе солнечных лучей, претворенных в энергию воды, ветра, живых организмов и химических сил атмосферы?

---



## ГЛАВА ВТОРАЯ

### Из чего и как построены горы

**Д**ля того чтобы понять, как создаются горы, и разрешить вопрос о том, какие силы участвуют в их образовании, мы должны прежде всего посмотреть, из каких материалов, из каких горных пород построены горные цепи. Мы ведь знаем, что по характеру породы можно судить об условиях ее образования. Однако мы должны еще условиться о том, какие горы явятся предметом нашего рассмотрения.

Вулканы, выбрасывающие во время извержения раскаленные пары, камни, пепел и лаву, тоже называются горами. Эти вулканические, или «огнедышащие», горы достигают иногда значительной высоты, как, например, Везувий, единственный действующий вулкан на материке Европы, который на 1 134 метра поднимает свою дымящуюся вершину над уровнем Средиземного моря, прекрасная, покрытая снегом Ключевская сопка на Камчатке, или потухший вулкан Эльбрус на Кавказе, достигающий 5 629 метров абсолютной высоты<sup>1</sup> (рис. 25).

Живописные конусы этих вулканических гор сложены из тех материалов, которые выбрасываются при извержении, — из пепла, бомб, камней и потоков лавы. Вулканы образуют группы, иногда довольно значительные, как, например, знаменитые потухшие вулканы Оверни в Центральном массиве Франции или вулканы Камчатки. Но они никогда не дают больших горных цепей такого типа как Альпы, Кавказ или Гималаи, и эти последние построены из совершенно иных материалов.

О вулканических горах мы будем говорить только вскользь, поскольку возникновение их связано с теми процессами, которыми сопровождается поднятие горных цепей.

Есть еще и горы эрозийного происхождения — горы размыва, которые являются результатом эрозийной деятельности текучих вод, расчленяющих поверхность равнинных местностей. Наши Ленинские (бывшие Воробьевы) «горы» под Москвой — не что иное, как высокий коренной берег долины реки Москвы. Такого же происхождения большинство «нагорных» берегов других наших рек.

Если равнина, расчленяемая речной эрозией, высоко поднята над уровнем океана, реки врежутся глубокими ущельями, или каньонами в эту равнинную область, и водораздельные пространства будут иметь вид своеобразных, иногда очень высоких «столовых» гор. Такой харак-

<sup>1</sup> Абсолютной высотой называется высота какой-нибудь точки над уровнем моря, а относительной — высота ее над прилегающей местностью.



тер имеет область штатов Аризона и Колорадо в Северной Америке (рис. 26) и ряд высоко поднятых участков Сибирской равнины.

Но, как ни грандиозны процессы размыва, эрозионные горы никогда не достигают такого величия и красоты, как настоящие горные цепи,



Рис. 25. Потухший древний вулкан Эльбрус на Кавказе

происхождение которых, как и происхождение вулканов, связано с работой внутренних, или эндогенных, сил земного шара, но строение которых резко отличается от строения вулканических конусов

И вулканы, и эрозионные горы имеют иную внешнюю форму и иное происхождение, чем горные цепи подобные Кавказу, Тянь-шаню, Уралу,



Альпам, Гималаям или американским Кордильерам. Возникновение этих цепей, происходившее под напором внутренних сил, сопровождалось смятием, изгибами и разрывами пластов земной коры, после которых пласты эти приняли нарушенное положение.

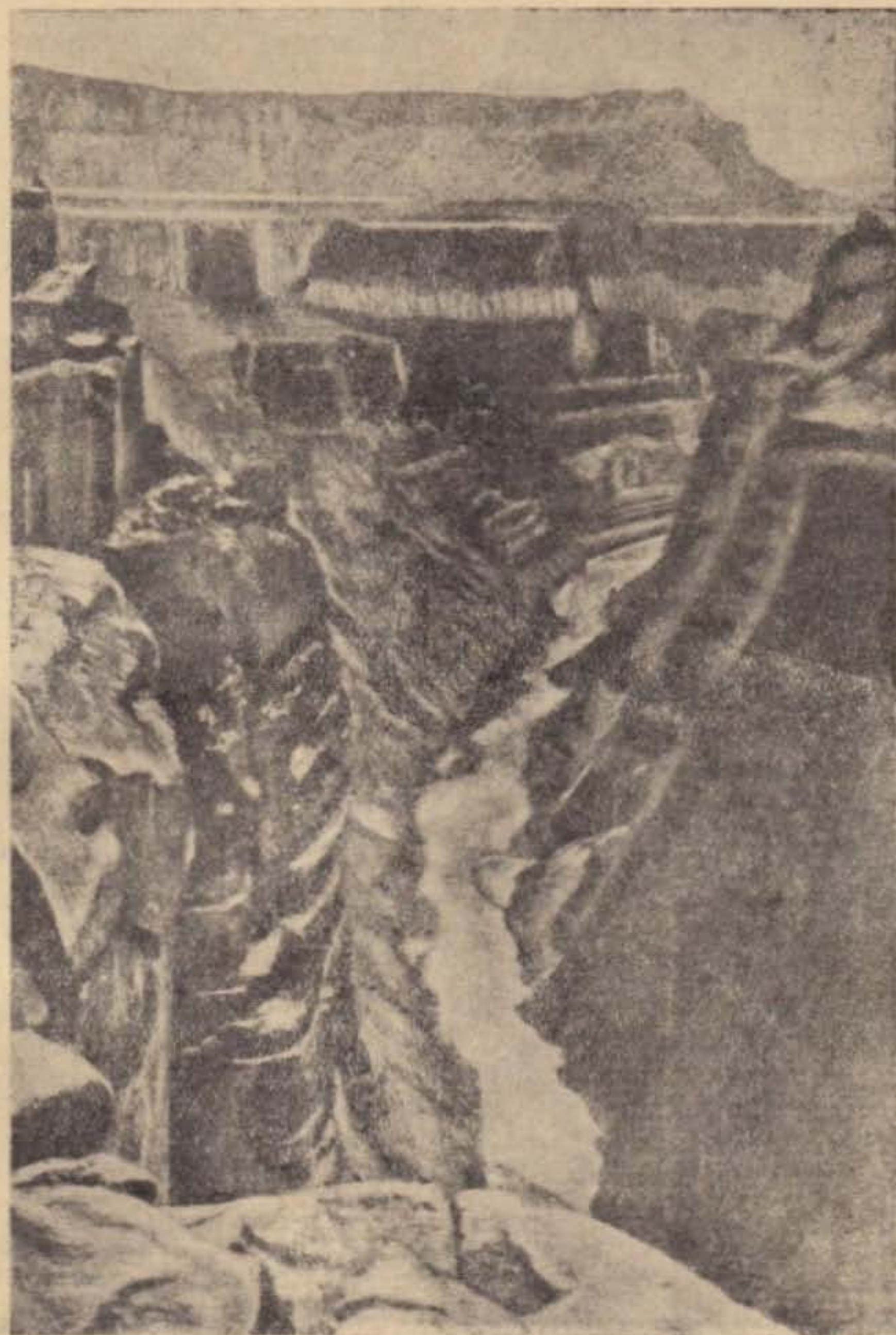


Рис. 26. Каньон р. Колорадо в Северной Америке. Глубочайшая долина (2 км глубины), на склонах которой обнажаются мощные серии палеозойских и кайнозойских отложений, горизонтально залегающих на дислоцированных археозойских и протерозойских породах

Наука, изучающая движения земной коры и те нарушения первоначального залегания пластов, которыми эти движения сопровождаются, называется тектоникой, а самые процессы движения — тектони-



ческими процессами. Те горы, которые возникают в результате этих процессов, мы называем тектоническими горами.

В дальнейшем мы и будем говорить о происхождении и строении тектонических горных возвышенностей.

Из каких же пород сложены эти горы? Для того чтобы узнать это мы должны спуститься в речные долины к тем обнаженным крутым обрывам, которые поднимаются над водою. Реки врезаются глубоко в склоны гор. Многие из них пересекают горные возвышенности в поперечном к общему простиранию хребта направлении. Они дают нам тогда прекрасные естественные разрезы горных цепей и хорошо знакомят нас с их внутренним строением.

Если мы будем подниматься на лодке вверх по одной из рек пересекающих западные предгорья Урала, то мы увидим по берегам ряд живописных скалистых «обнажений». Красотою своих скал недаром славится река Чусовая. Но не менее живописны они и на Вишере, на Щугоре, на Ыльче и других реках западного склона. В этих скалах выступают мощные толщи известняков, песчаников или слоистых глинистых пород. Известняки содержат остатки морских организмов, кораллов, морских лилий и разнообразных раковин, которые свидетельствуют о том, что породы эти отложились в свое время в виде органогенного осадка на дне теплого, открытого, неглубокого моря. Песчаники, наряду с морскими раковинами в них попадающимися, содержат остатки растений, которые говорят нам о близости суши и о прибрежном характере этих песчаных отложений. Глинистые слои являются более глубоководными осадками. Все эти породы — памятники морей, расстилавшихся некогда на месте теперешнего Уральского хребта. Органические остатки, встречающиеся в них, позволяют нам определить их возраст. Самые древние осадочные породы Урала, содержащие следы организмов, относятся к первому периоду палеозойской эры, называемому кембрийским. Самые молодые отложения, участвующие в сложении предгорий этого хребта, имеют пермский возраст, т. е. они отложились в течение последнего, пятого периода палеозойской эры. Кроме кембрийских и пермских пластов, в сложении Урала принимают участие породы силурийского, девонского и каменноугольного возраста.

Мы знаем, что морские осадочные породы встречаются и на равнинах. Мы видели под Москвою толщи известняка, переполненные остатками разнообразных морских животных. Эти известняки отложились здесь во времена отдаленного каменноугольного периода, когда обширное теплое море заливало значительную часть нашей страны и простиралось до самого Урала, еще не существовавшего в то время. Среди осадочных пород, слагающих живописные скалы по берегам уральских рек, мы встречаем те же каменноугольные известняки. Можно выбить из них многие окаменелости, сходные с теми, которые мы собираем в наших подмосковных каменоломнях. Это, несомненно, осадки одного и того же обширного моря.

Однако между каменноугольными известняками Урала и подмосковными отложениями того же возраста есть и глубокая разница. Под Москвою, как и в других равнинных местностях, где с отдаленнейших времен не происходило поднятия гор, слои осадочных пород, слагающие земную кору, лежат горизонтально. Пестрые толщи слоистых глин и мергелей<sup>1</sup>, обнажающиеся по берегам Волги от устья Оки до Казани, желтоватые и серые опоки живописных «Столбичей» ниже Саратова,

<sup>1</sup> Мергелем называется глинистый известняк.



красные песчаники в обрывах камских берегов или грандиозные серии осадочных пород, вскрытых в разрезах каньона Колорадо (рис. 26), имеют спокойное горизонтальное залегание, все эти слои сохранились в том положении, в котором были отложены когда-то на дне древних морских бассейнов.

Вернемся теперь к уральским рекам или пойдем в ущелья Кавказских гор и посмотрим на те обнажения, которые выступают на их высо-

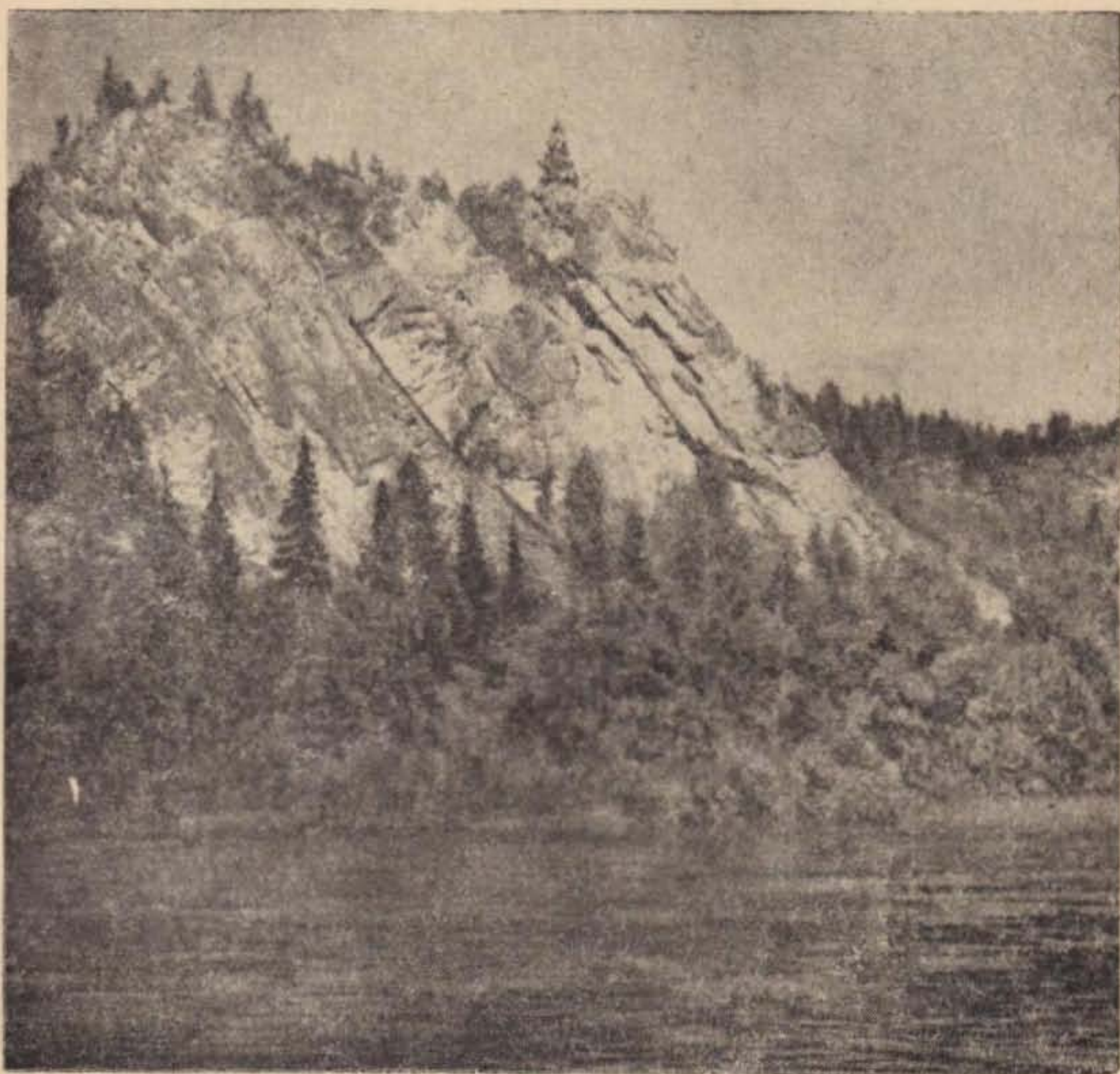


Рис. 27. Наклонные пласты известняков каменноугольной системы на р. Уьы  
на Северном Урале

ких, крутых склонах. Известняки живописных скал, поднимающихся над реками Урала, или породы, венчающие вершины Альпийских и Кавказских гор, не залегают в виде горизонтальных пластов, подобно нашим подмосковным известнякам. Пласты, слагающие эти скалы, приподняты более или менее круто (рис. 27). Они, как говорят геологи, падают в ту или другую сторону под некоторым углом, который может быть измерен при помощи особого горного компаса, снабженного отвесом со шкалой для измерения. Иногда слои эти стоят совсем вертикально или «поставлены на голову», как говорят геологи. Такое положение имеют пласты песчаников и известняков в обрывах уральских рек (рис. 28). Там,



где выступают тонкослойные глинистые сланцы, они смяты в прихотливые складки сравнительно небольших размеров, которые хорошо можно рассмотреть в обрывах обнажений.

Все пласты осадочных пород, принимавшие участие в сложении гор, имеют нарушенное залегание в отличие от горизонтального, ненарушенного положения пластов в равнинных местностях. Пласты

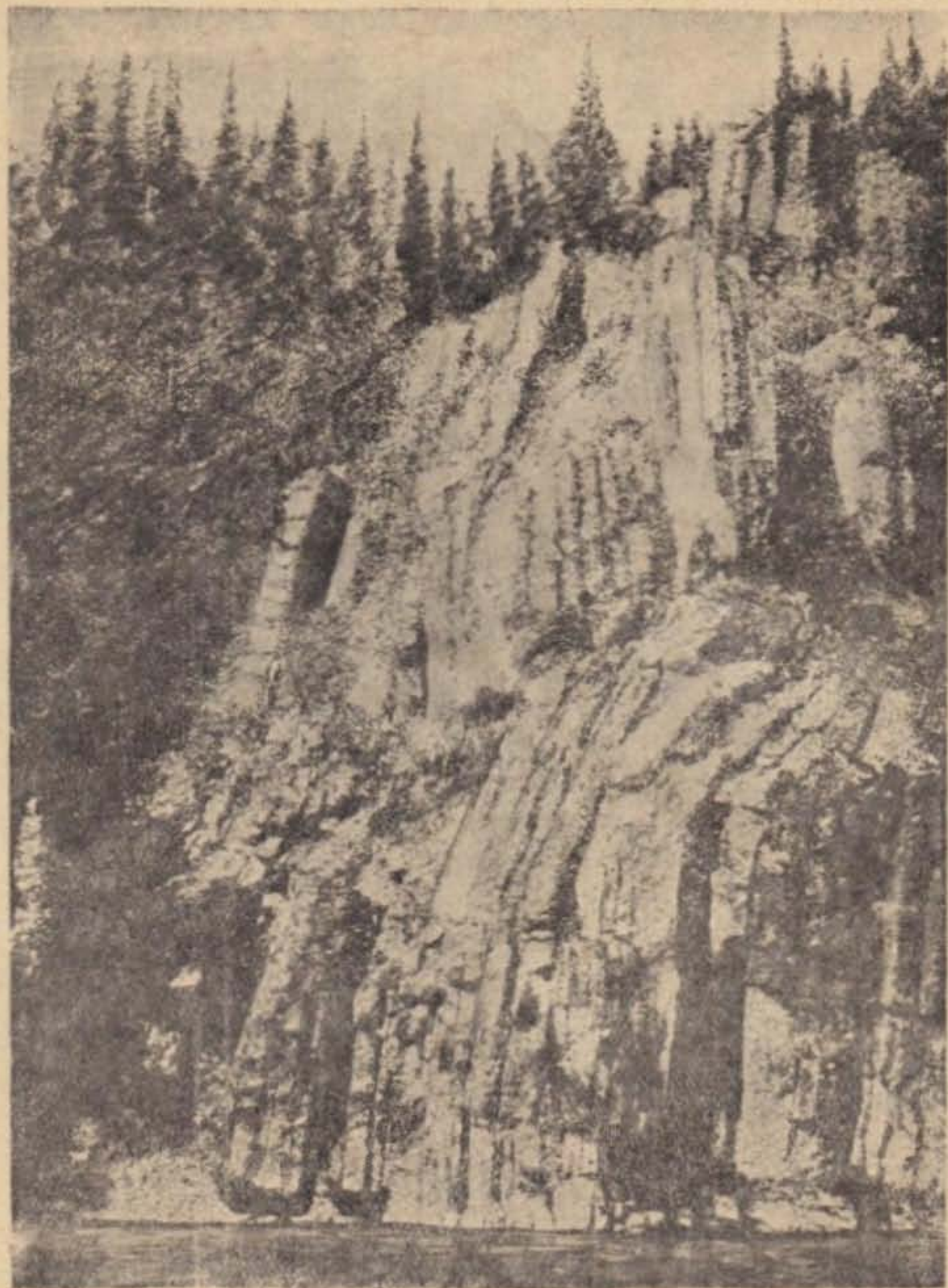


Рис. 28. Поставленные на голову пласты известняков на берегу р. Сыни на Северном Урале

земной коры в горных местностях подверглись после своего отложения перемещениям и деформациям, которые мы называем дислокациями.

Такие дислоцированные пласты мы всюду встречаем в горах. По Военно-Грузинской дороге во многих местах можно наблюдать пласты, круто падающие в ту или другую сторону. А живописные обнажения из-



вестняка и доломита в ущелье дикого Ардона, или обрывы темных сланцев в глубокой долине Мамиссона на пути к высокому перевалу? Как круто подняты там могучие пласты, точно смятые в гигантские складки! Присмотримся к ним ближе, и мы увидим, что это действительно мощ-

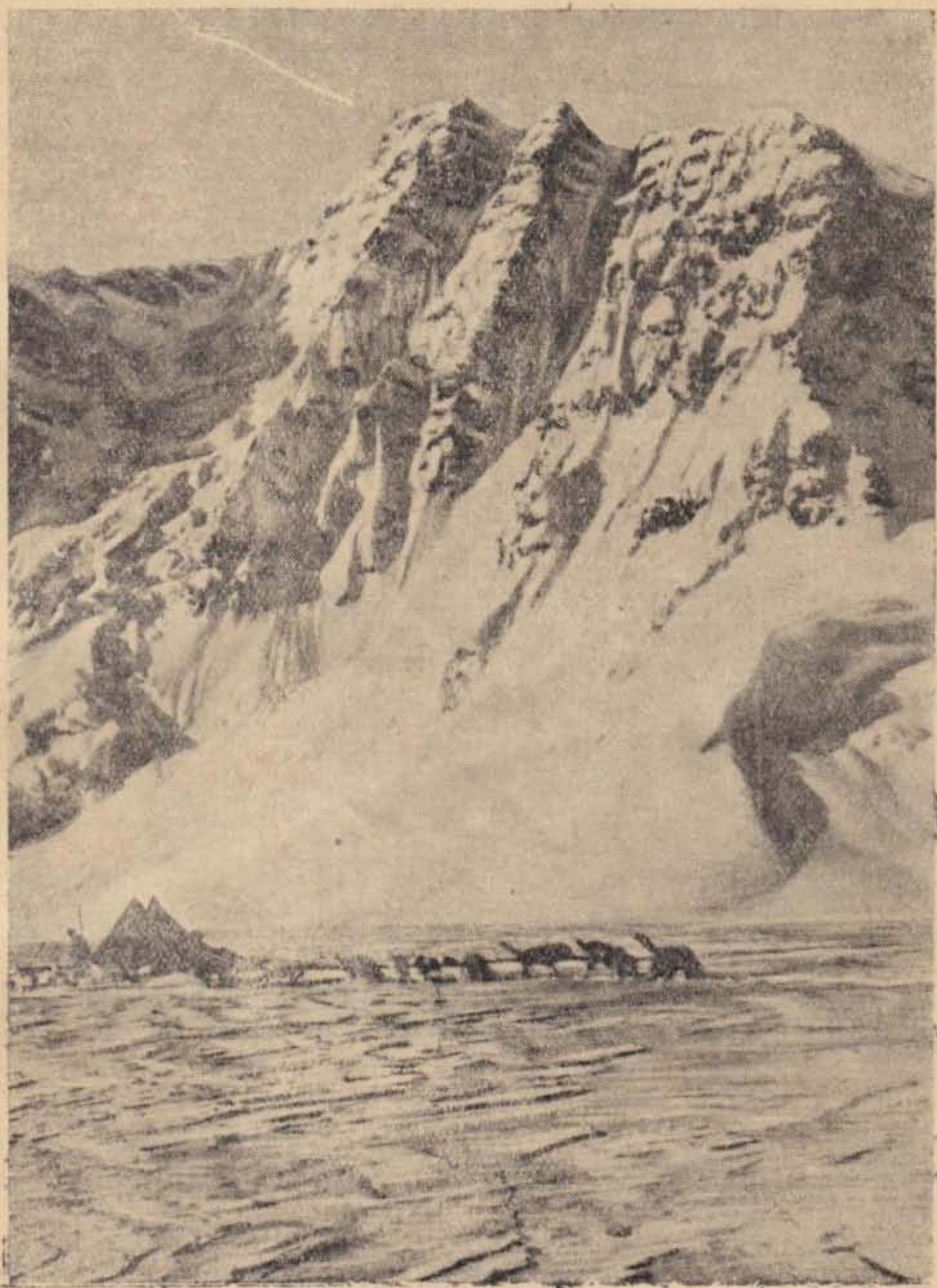


Рис. 29. Круто падающие пласты на одной из горных вершин Аляски

ные складки земной коры. В некоторых случаях можно вполне ясно различить полные, хорошо сохранившиеся очертания этих складок. В Юрской<sup>1</sup> горной цепи часто можно видеть большие складки, которые слага-

<sup>1</sup> Юрская горная система расположена к северо-западу от Альп.



ют целые горы. Знакомство с геологическим строением горных областей указывает на то, что они сложены из дислоцированных пластов и в основе своей являются нагромождением складок земной коры.

Не всегда, однако, очертания этих складок хорошо сохранились: по большей части они сильно разрушены работою внешних геологических

деятелей. Нередко удалена вся вершина складки, и мы видим только боковые части ее, или «крылья», а иногда лишь остатки этих крыльев.

Но геолог, тщательно изучая строение сохранившихся частей складок и точно замечая характер слагающих их пластов, их наклон и их чередование, может восста-

новить первоначальные очертания складки и ее высоту. Он строит так называемые «воздушные складки» (рис. 30). Воздушные складки являются изображением когда-то существовавших, но теперь уничтоженных частей гор.

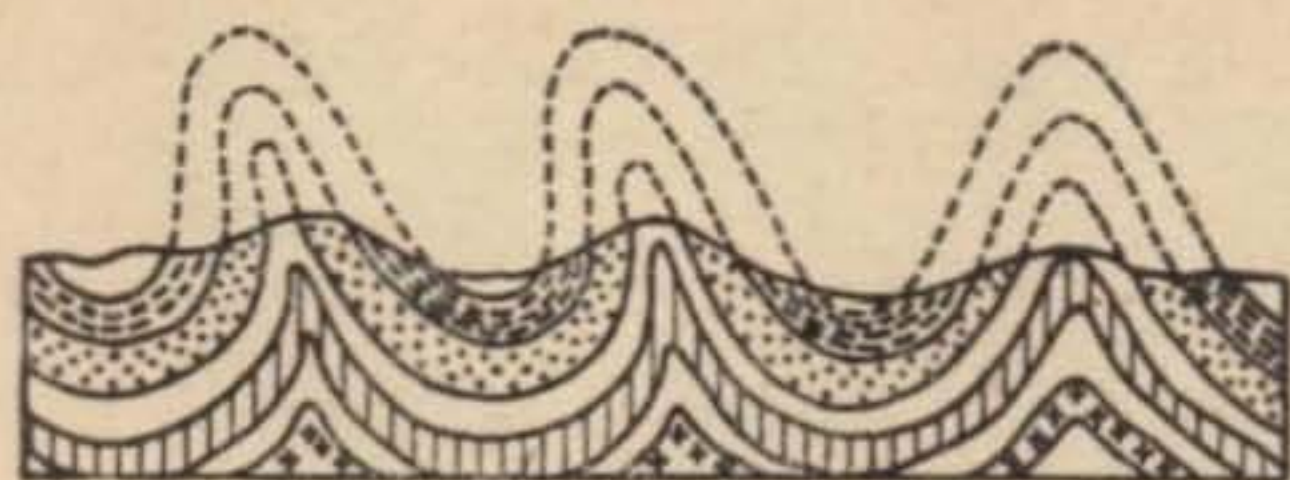


Рис. 30. Воздушные складки

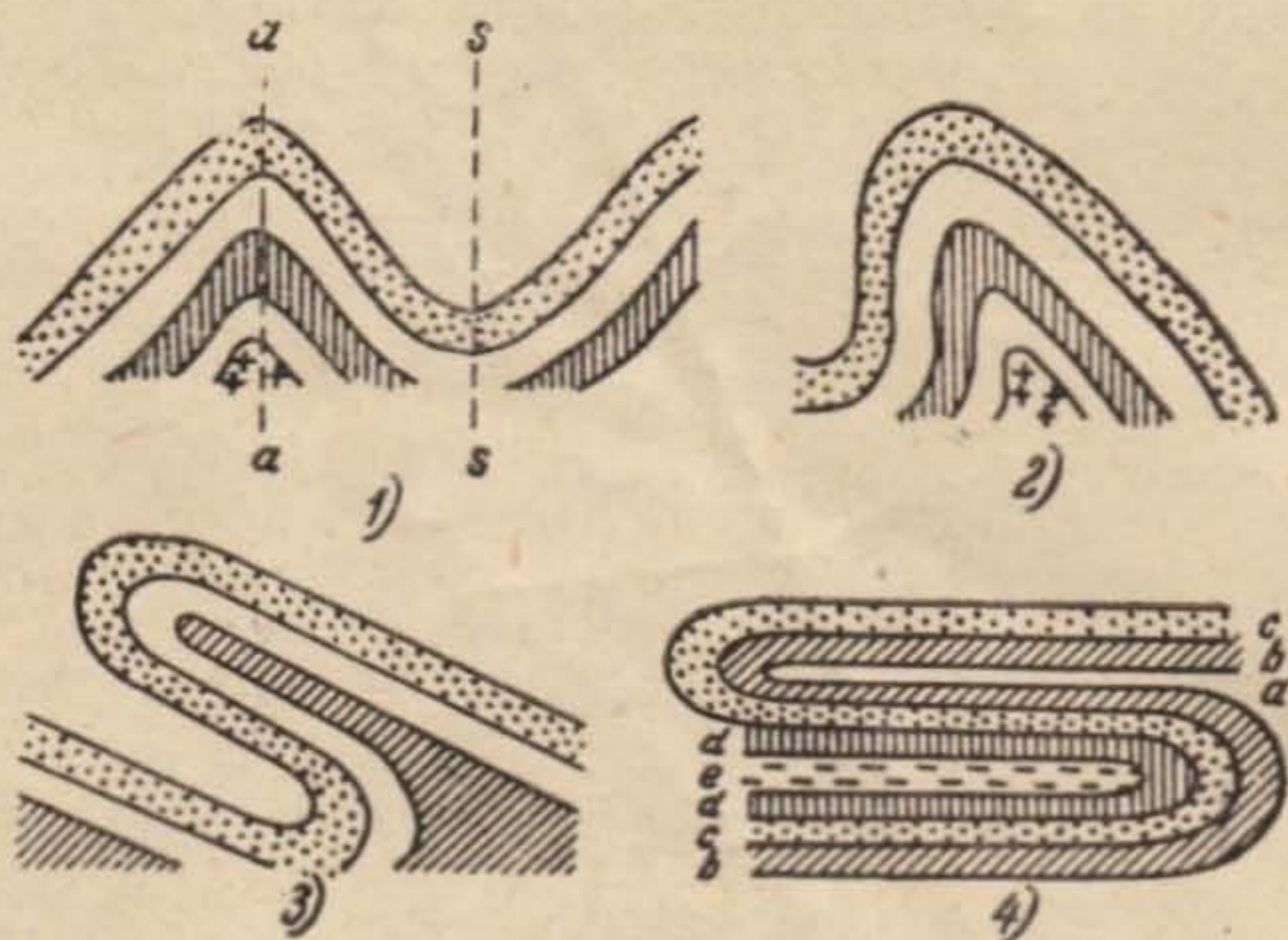


Рис. 31. Различные типы складок.

Фиг. 1—прямая антиклиналь и прямая синклираль,  
фиг. 2—косая антиклиналь, фиг. 3—опрокинутая складка,  
фиг. 4—лежащая складка

Подробное исследование различных горных областей привело геологов к знакомству с разнообразными типами складок, встречающихся в земной коре. Изучение различных форм и типов складчатости имеет большое значение. Оно дает нам возможность правильно судить о причинах этой складчатости. А разгадав причины образования складок в земной коре, мы узнаем причину образования гор.

Кроме того изучение форм залегания нарушенных пластов имеет и большое практическое значение. Без правильного понимания условий



залегания нельзя вести эксплуатации тех полезных ископаемых, которые встречаются в горных местностях, нельзя подсчитывать их запасы и рационально ставить разведки. Легко могут быть сделаны ошибки, которые обойдутся государству в тысячи, а иногда и миллионы рублей.

Поэтому нам необходимо познакомиться с важнейшими типами складок и освоиться с некоторыми терминами.

Те складки, у которых изогнутая, выпуклая часть направлена вверх, как это изображено на рис. 31, фиг. 1, называются *сводами*, или *антиклинальными*<sup>1</sup> складками. Те, у которых выпуклая часть направлена вниз, а вогнутая вверх, носят название *мульд* или *синклиналей*<sup>2</sup>. Крыльями антиклинали и синклинали будут называться оба бока складки, соединяющиеся ее перегибом, или *замком*. Соответственно складке различают замок антиклинальный и замок синклинальный.

Осевой плоскостью ( $a-a$  и  $s-s$ ) называют плоскую поверхность, проведенную через место наибольшего изгиба всех слоев, участвующих в образовании складки. На рис. 31 все складки изображены в разрезе, перпендикулярном к их осевой плоскости. Пересечение осевой плоскости с горизонтальной поверхностью дает нам линию, называемую *осью* складки. Положение оси складки определяет направление складки относительно стран света, или, как говорят в геологии, ее *простирание*. Наклон крыльев складки относительно горизонта называется их *падением*.

В природе редко встречаются отдельные антиклинали и синклинали. Обычно мы видим «полные» складки, состоящие из соединения антиклинали с синклиналью, а чаще всего — целые серии таких складок.

Прекрасные примеры складчатости можно видеть в Юрской горной цепи. Складки ее очень хорошо сохранились и очень ясно выражены в рельефе этой местности. Антиклинали представляют собою возвышенности, синклинали — параллельные им продольные долины. Антиклинальные гребни часто прорезаны перпендикулярно простиранию (т. е. перпендикулярно осевой плоскости складок) живописными поперечными долинами. На крутых склонах этих долин, или *кюзов*, как их там называют, хорошо выступает геологическое строение разрезанных ими горных гребней.

Размеры складок бывают очень различны: от самых ничтожных, измеряющихся сантиметрами, до громадных, выражающихся десятками километров в длину, сотнями, даже тысячами метров в высоту и ширину. Складки первого типа обуславливают складчатое сложение тонкослоистых пород, складки второго типа образуют целые горы.

Не всегда складки поднимаются прямо так, что их осевая плоскость перпендикулярна горизонту. Нередко эта плоскость наклонна (рис. 31, фиг. 2) и тогда складка называется *косою*, в отличие от *прямой*. Наклон пластов в обоих крыльях *косой* складки будет неодинаковым. При несколько большем наклоне осевой плоскости складку называют *опрокинутой* (рис. 31, фиг. 3), так как в нижнем крыле ее пласты

<sup>1</sup> От греческих слов — «анти» — напротив и «клинео» — наклоняю. Это название дано потому, что слои такой складки от вершины ее склоняются или падают в разные стороны.

<sup>2</sup> От греческих слов «син» — вместе, «клинео» — наклоняю, потому что в крыльях синклинальной складки пласты падают по направлению к центру, навстречу друг другу.



получают положение, обратное нормальному — более молодые пласты лежат внизу, и на них покоятся более древние.

В любой горной местности можно встретить целый ряд косых и опрокинутых складок. Они встречаются значительно чаще, чем прямые. Так, например, западные предгорья Урала в большинстве случаев сложены из серии опрокинутых к западу складок, причем складки эти относятся к типу так называемых *изоклиналиных* (рис. 31, фиг. 3 и 4). Изоклиналиные складки отличаются тем, что крылья их параллельны друг другу и параллельны осевой плоскости, а не наклонны к осевой плоскости, как в обычных *нормальных* складках. На западном склоне Северного Урала, где развиты опрокинутые изоклиналиные складки, мы наблюдаем многократное чередование одних и тех же серий пластов, однообразно падающих к востоку, причем пласты эти имеют то нормальное, то опрокинутое залегание. Встречаются и такие складки, осевая плоскость которых параллельна горизонту. Они называются *лежащими* (рис. 31, фиг. 4). Пласты их лежат горизонтально, и при беглом осмотре местностей, в которых развита лежащая складчатость, неопытный исследователь может быть введен в заблуждение и не заметить нарушенного залегания пластов. Но стоит только внимательно присмотреться к чередованию слоев в крыльях такой лежащей складки, как обнаружится их неестественное положение. В верхнем крыле они лежат правильно — более молодой, позднее отложившийся слой *c* лежит на *b*, *b* на *a*. Это крыло и будет называться *нормальным*. В нижнем крыле мы видим обратное расположение слоев. Под более древним слоем *a* будет лежать более молодой *b*, *b* будет подстилаться *c* и т. д. Это крыло называется *обращенным*. По такому неестественному чередованию пластов геолог может узнать, что он имеет дело с лежащей складкой даже в том случае, если разрушены ее замки, а от крыльев сохранились лишь небольшие обрывки.

Кроме упомянутых типов складок, геологи различают еще целый ряд других, имеющих более или менее сложное строение. На рассмотрении их мы останавливаться не будем. Для наших целей достаточно перечисленных основных типов.

Значительное развитие косых, опрокинутых и лежащих складок указывает на направление сил, вызывающих образование складчатых дислокаций.

Нормальная прямая складка может быть образована и давлением, направленным снизу вверх, и давлением, действующим с боков в горизонтальном направлении. Это легко проверить на опыте. Если мы возьмем пачку слоев войлока или пачку листов бумаги, подведем под нее палочку и будем эту палочку поднимать, войлок и бумага изогнутся в прямую антиклиналиную складку. Этого же результата можно достигнуть, осторожно сдавливая с двух сторон руками войлок или бумагу, лежащие на столе.

Если бы в природе встречались только прямые или слегка косые складки, мы могли бы думать, что образование их связано с напором сил, действовавших снизу вверх. Так и предполагали первые исследователи, которые прежде всего обратили внимание на наиболее правильные формы дислокаций. Но существование многочисленных косых, опрокинутых и лежащих складок несомненно указывает на то, что эти дислокации образовались под влиянием горизонтального, бокового давления. И, повидимому, это давление чаще всего было односторонним. Обыкновенно в каждой горной системе есть общее направление, в котором опрокидываются и ложатся складки. Так, например, в северных Альпах мы



видим опрокидывание складок к северу и северо-западу, на западном склоне Урала — к западу и т. д.

То, что именно боковое давление играет роль при образовании складчатых горных систем, еще более убедительно доказывается существованием своеобразных дислокаций, которые носят название надвигов, наволоков, или шарриажей (от французского слова *charrier* — везти).

При опрокидывании складок нередко наблюдается сильное растягивание обращенного крыла (рис. 32, фиг. 1), которое может быть иногда совсем разорвано. В этом случае нормальное крыло будет как бы надвинуто на серию обращенного крыла, и у нас получится складка-сдвиг (рис. 32, фиг. 2).

Особенно сильное надвигание верхнего крыла может наблюдаться у лежачих складок в случае их разрыва. При этом движении обращенное крыло может быть совсем истерто. Тогда можно видеть, как серия нормально залегающих пластов покрывается нормальной же серией надвинувшихся на нее слоев верхнего крыла лежачей складки (рис. 32 фиг. 3).

Это и будет надвиг, или наволок. При полном сохранении надвинутого крыла два раза повторяется одна и та же серия слоев. Отсутствие обращенного крыла резко отличается от рассмотренных выше лежачих складок.

Но не всегда, конечно, истираются все слои обращенного крыла и не всегда сохраняются все слои крыла нормального. Это зависит от размеров и силы надвига, от степени того разрушения, которому подверглись породы при этом горизонтальном движении. Иногда надвигающая сила может быть так велика, что перемещение пластов в горизонтальном направлении достигает десятков километров и они могут быть надвинуты на совершенно чуждые им по возрасту и происхождению породы.

Трудно поверить в возможность таких перемещений, но нас убеждают в этом неоспоримые факты. В некоторых горных странах, как, например, в одной из цепей Юрских гор, называемой Мон-Террибль («Ужасная гора»), можно видеть все переходы от косых, опрокинутых и лежачих складок к надвигам и шарриажам небольшого размаха.

В самих Альпах эти явления достигают гораздо больших размеров. По данным альпийских геологов целые покровы надвинуты в западных Альпах на северную и северо-западную часть этой горной дуги. Эти грандиозные покровные надвиги отличаются своими размерами от небольших складчатых надвигов, рассмотренных выше.

Трудно понять, каким образом эти массы в миллиарды тонн могли перемещаться на расстояние десятков километров. Между тем мы не можем иначе объяснить те факты, с которыми встречаемся при изучении геологии Альп. Так, например, по северному краю западных Альп мы

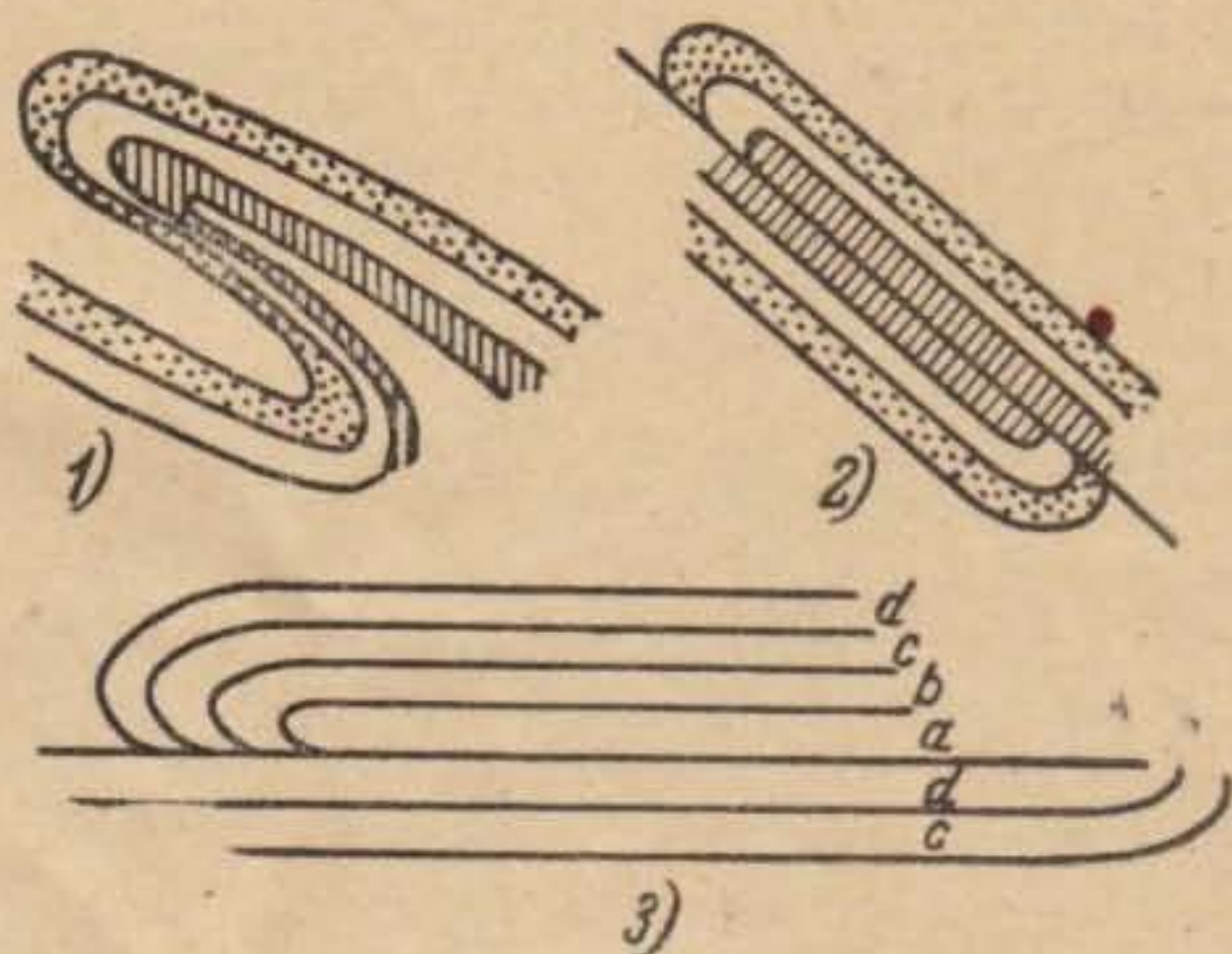


Рис. 32. Фиг. 1—опрокинутая складка с растянутым крылом, фиг. 2 - складка-сдвиг, фиг. 3—наволок



видим целые горы, сложенные из совершенно чуждых этой области пород и получившие общее название «утесов». В естественном первоначальном залегании породы утесов встречаются много южнее. На севере же они лежат «без корней» на породах более молодого возраста и представляют остатки больших, размытых с течением времени покровов, надвинутых сюда с юго-востока. Местами одни лишь «утесы», кое-где сохранившиеся как чуждые пришельцы, свидетельствуют о бывшем распространении таких обширных покровов.

Кажущееся спокойствие залегания в области развития покровов и лежащей складчатости в действительности свидетельствует о грандиознейших горизонтальных перемещениях, о могучем напоре горообразовательных сил. В настоящее время для нас уже не подлежит сомнению

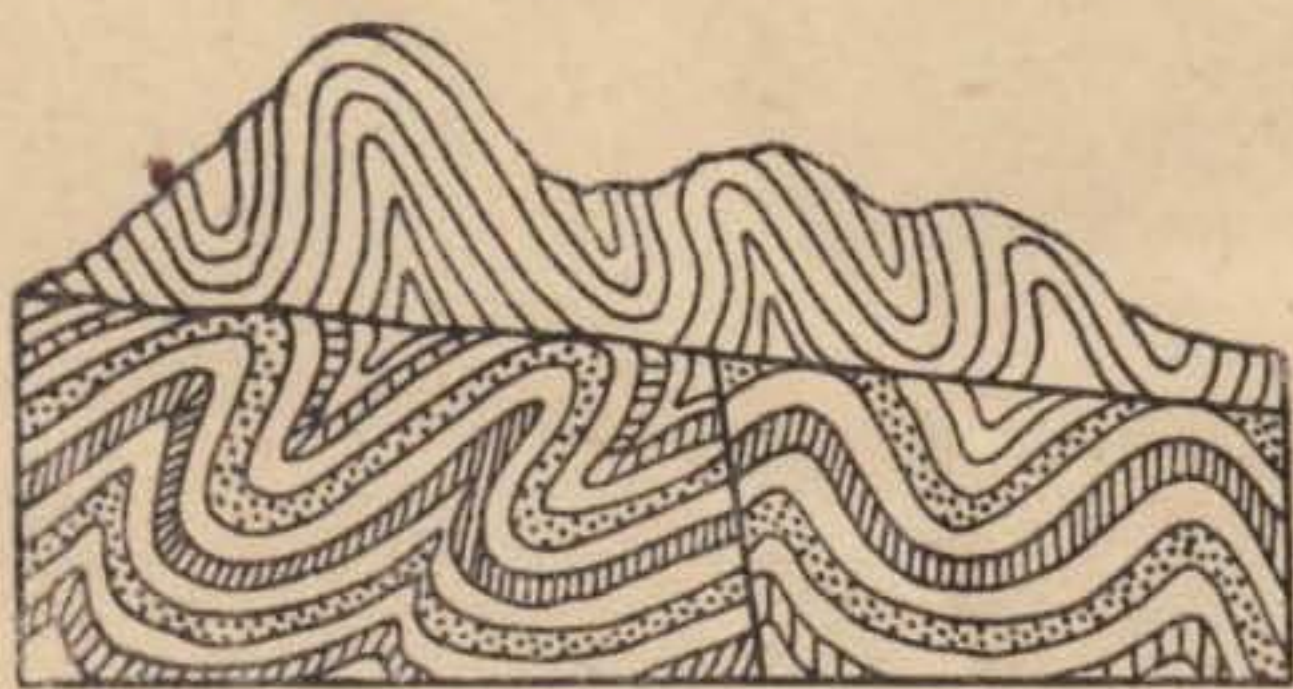


Рис. 33. Глыбовый надвиг (серия слоев, смятая в складки, надвинута по почти горизонтальной плоскости на другую складчатую серию, которая кроме того разбита сбросом)

возможность таких движений. Покровы и надвиги найдены не только в пределах Альп. Подробное изучение целого ряда других горных систем указывает на развитие в них дислокаций того же типа. Так, в Скандинавских горах мы находим мощный покров, на сто километров надвинутый к юго-востоку так, что древние археозойские и протерозойские породы оказываются лежащими на более молодых силурийских слоях палеозойской группы. И это надвигание может быть прослежено на протяжении 145 километров вдоль по простиранию Скандинавской горной цепи.

Надвиги большего или меньшего размера обнаружены на Урале, на Алтае, на Кавказе и в других горах. Но понадобились долгая, упорная работа целого ряда ученых, тщательный сбор фактов, детальные наблюдения для того, чтобы учение о надвигах могло войти в науку и завоевать себе то прочное место, которое оно теперь занимает. Никакая самая смелая фантазия не может изобрести тех «чудес», о которых рассказывает нам природа, когда мы умеем правильно понимать ее язык.

Повидимому явления горизонтального перемещения и надвигания очень широко развиты в земной коре. Помимо тех складчатых и покровных надвигов, о которых мы говорили, существует еще третий тип так называемых глыбовых надвигов, не связанных непосредственно с процессом образования складок. Под влиянием сильного бокового напора значительные массы предварительно смятых пластов могут быть как бы сколоты и сдвинуты на то или другое расстояние по почти горизонтальной или слабо наклонной линии разрыва (рис. 33).

Изучая различные горные системы, мы убеждаемся в том, что просто построенные, чисто складчатые горы типа Юрских встречаются сравнительно редко. Большинство наших больших горных цепей представляет собою складчатые горы, осложненные надвигами.

Мы видим, что при образовании складок пласты разнообразных пород сминаются как пластическая мягкая масса, не подвергаясь расколам, раздроблению или разрыву. Этим складчатым, или п л и к а т и в-



ным<sup>1</sup>, дислокациям противопоставляются дизъюнктивные<sup>2</sup>, или разрывные, дислокации, образование которых сопровождается разрывом слоев. Эти дислокации связаны с образованием трещин в земной коре, вдоль которых и совершается перемещение слоев. Это перемещение может происходить в двояком направлении. Один участок земной коры может передвинуться относительно другого по трещине разрыва в горизонтальном направлении. Такое явление будет носить название горизонтального сдвига, или собственно сдвига. В других случаях движение участков земной коры по трещинам разрыва произойдет в вертикальном направлении — один участок земной коры поднимается относительно другого. Такая дислокация будет называться сбросом (рис. 34).

Переместившиеся участки земной коры по сторонам от трещины разрыва — сбросовой трещины, или сбрасывателя, — называются крыльями сброса, причем обычно различают поднятое (а) и опущенное (b) крыло (рис. 34, фиг. 1).

В зависимости от наклона сбрасывателя различают прямые сбросы с вертикальной сбросовой трещиной (рис. 34, фиг. 1), нормальные сбросы, сбрасыватель которых имеет наклон в сторону опущенного крыла (рис. 34, фиг. 2), и, наконец, обращенные сбросы, или взбросы, с наклоном сбрасывателя в сторону поднятого крыла (рис. 34, фиг. 3).

Горизонтальные сдвиги могут ничем не проявиться в рельефе земной поверхности, и только изучение геологического строения данной местности может их обнаружить. Иногда внешние агенты разрушения энергичнее работают вдоль трещины сдвига, по направлению которой возникают котловины или располагаются системы озер. Наоборот, сбросы нередко ясно выражены в рельефе, и многие возвышенности и впадины на земной поверхности являются результатом сбросовых дислокаций. Всем, конечно, известны Жигулевские горы, которые являются одной из живописнейших местностей на Волге. Когда плывешь вниз по реке, они вдруг вырастают перед вами голубоватой стеною, в обход которой Волга описывает крутую излучину называемую Самарской лукою.

Скалистые, поросшие зеленью склоны Жигулей, сложенные из крепкого белого известняка, резко оглищаются от обрывов черных глин и зеленоватых песков, поднимающихся по берегам Волги вверх от Жигулей. Геологическое изучение этой местности показывает, что гряда Жигулей представляет собою поднятое крыло большого сброса, который внезапно вывел на поверхность глубоко залегавшие извест-

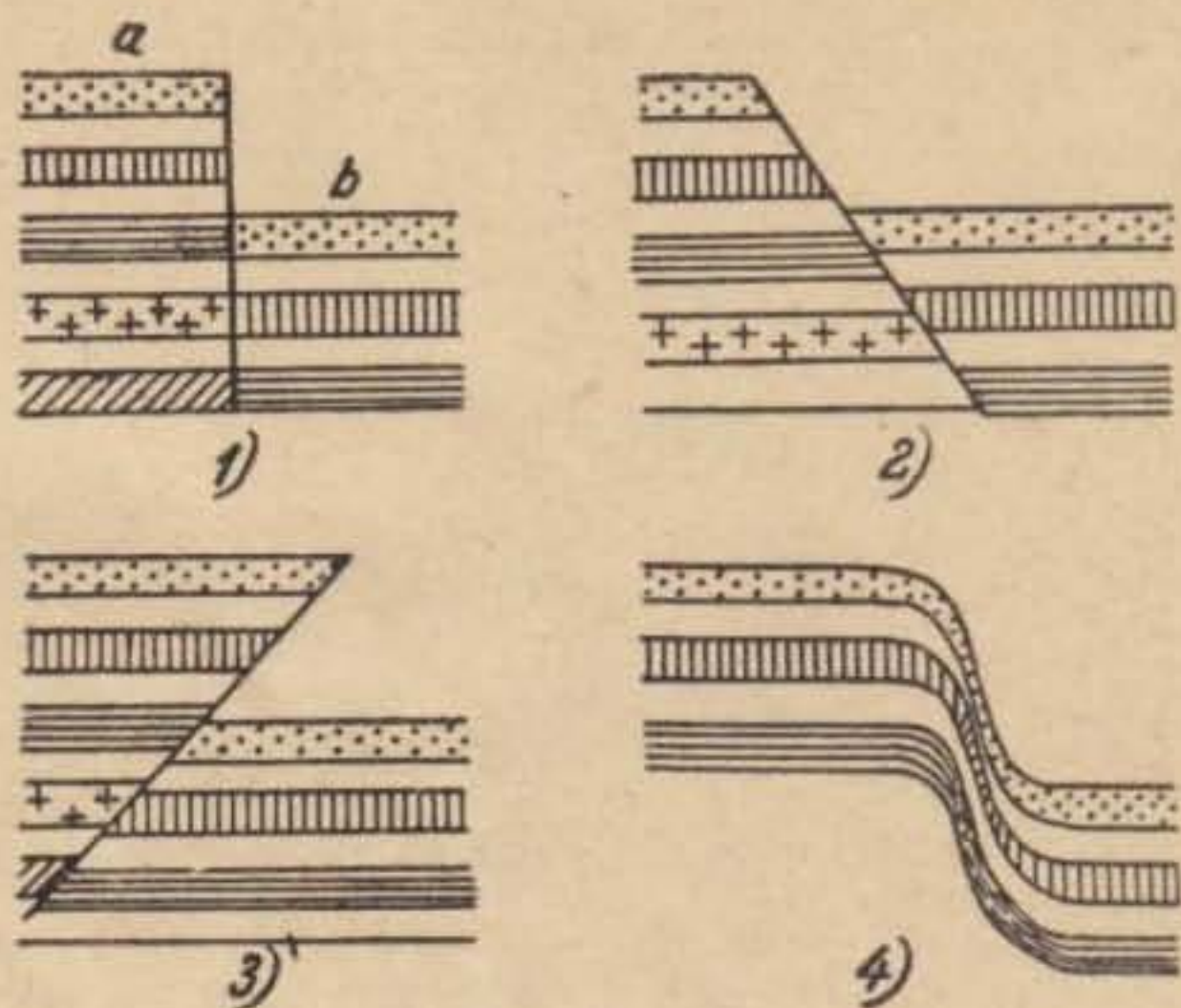


Рис 34. Сбросы. Фиг. 1—прямой, фиг. 2—нормальный, фиг. 3—обращенный, или взброс, фиг. 4—флексура

<sup>1</sup> От французского слова «*plis*» — складка.

<sup>2</sup> От французского слова «*disjunctive*» — разъединять.



няки каменноугольного возраста, гораздо более древние, чем мезозойские пески и глины, залегающие к северу на одном уровне с ними в опущенном крыле этого сброса.

Есть сбросы гораздо более значительного размаха, поднятое крыло которых образует большие возвышенности. Таким поднятым крылом громадного сброса является высокая скала Гибралтар, величественной отвесной стеной поднимающаяся над водами пролива (рис. 35).



Рис. 35. Скала Гибралтар, представляющая собою поднятое крыло сброса

Иногда опускание одного участка земной коры относительно другого может произойти и без разрыва слоев. Тогда получается дислокация называемая ф л е к с у р о й (рис. 34, фиг. 4).

Сбросы не всегда происходят по одной только сбросовой трещине. В природе чаще наблюдаются сложные сбросы. Они получаются в том случае, когда оседание или поднятие какого-нибудь участка земной коры происходит по нескольким сбросовым линиям («ступенчатые сбросы», рис. 36, фиг. 1).

Среди таких сложных сбросов наиболее характерными являются так называемые сбросовые рвы, или г р а б е н ы (от немецкого слова Graben — яма) (рис. 36, фиг. 2). Они представляют собою опустившиеся части земной коры, ограниченные двумя или несколькими параллельными сбросовыми трещинами.

Противоположную им дислокацию представляют сбросовые выступы, или г о р с т ы. Это приподнятые части земной коры, расположенные между осевшими областями и ограниченные сбросами (рис. 36, фиг. 3).

Многие впадины на земной поверхности не что иное, как обширные сбросовые рвы, которые нередко становятся вместительным для больших озер. Таково происхождение нашего чистого, глубокого Байкальского озера, обрамленного живописными горами.



Между городами Базелем и Майнцем расположен один из красивейших участков долины Рейна. С востока над глубокой низиной, по которой вьется река, поднимаются темные вершины лесистого Шварцвальда. С запада синеют живописные уступы Вогез. Эта часть долины Рейна представляет собою сбросовый ров — широкую полосу, опустившуюся между двумя горстовыми массивами Шварцвальда и Вогез. Длина этого грабена достигает 300 километров.

Но мы знаем и еще более грандиозные примеры опусканий. Красное море, узкой и глубокой лазурной полосой отделившее пустыни Африки от пустынь Аравийского полуострова, — часть обширнейшего сбросового рва. Начало его находится в Палестине.

Продолжение этого грабена мы находим вдоль юго-восточного берега Африки, где путь его отмечен голубыми пятнами величайших озер, расположившихся по

дну этой сбросовой низины: Виктория-Ньянца, Альберт-Ньянца, Танганьика и другие большие озера Восточной Африки связаны с этим великим Восточноафриканским, или Эритрейским, грабеном, который представляет собою одну из наиболее грандиозных систем дизъюнктивных дислокаций известных на земной поверхности. Общая длина его достигает 6 400 километров.

Но эта дислокация не единственная. В центре

Азиатского континента раскинулась унылая область пустынь: песчаные моря и каменистые равнины суровой Гоби, печальные, широкие, как море, степи Ордоса, пески Альшанских равнин, со всех сторон замкнутые высокими горами. И в этой пустынной области мы находим глубокую впадину, окруженную горами и заполняемую продуктами их разрушения. Это великий Центрально-Азиатский грабен, еще мало изученный и мало известный по своей недоступности. Мы можем, однако, сравнивать его с грандиозной африканской дислокацией, так как длина его, несомненно, измеряется тысячами километров.

Этих примеров достаточно, чтобы показать, какую важную роль играют сбросовые дислокации в строении земной коры. Системы складчатых и покровных гор простираются на громадные пространства. Но сбросы тоже представляют собою не случайное или местное явление. Мы видим грабены, тянущиеся на сотни и даже тысячи километров, и целые горные системы обязаны своим современным рельефом сбросовым дислокациям. Так, например, наши Саянские и Байкальские горы, являющиеся в основе своей складчатыми горами, были в свое время сглажены, выравнены и на значительном пространстве превращены в пенеплен. Под новым натиском горообразовательных сил этот древний пенеплен был приподнят и разбит на отдельные горсты и грабены. Такова же была и судьба Алтая и Тянь-шаня. Это древние, в свое время сильно пониженные работой внешних деятелей, горы, вторично расчлененные дизъюнктивными дислокациями.

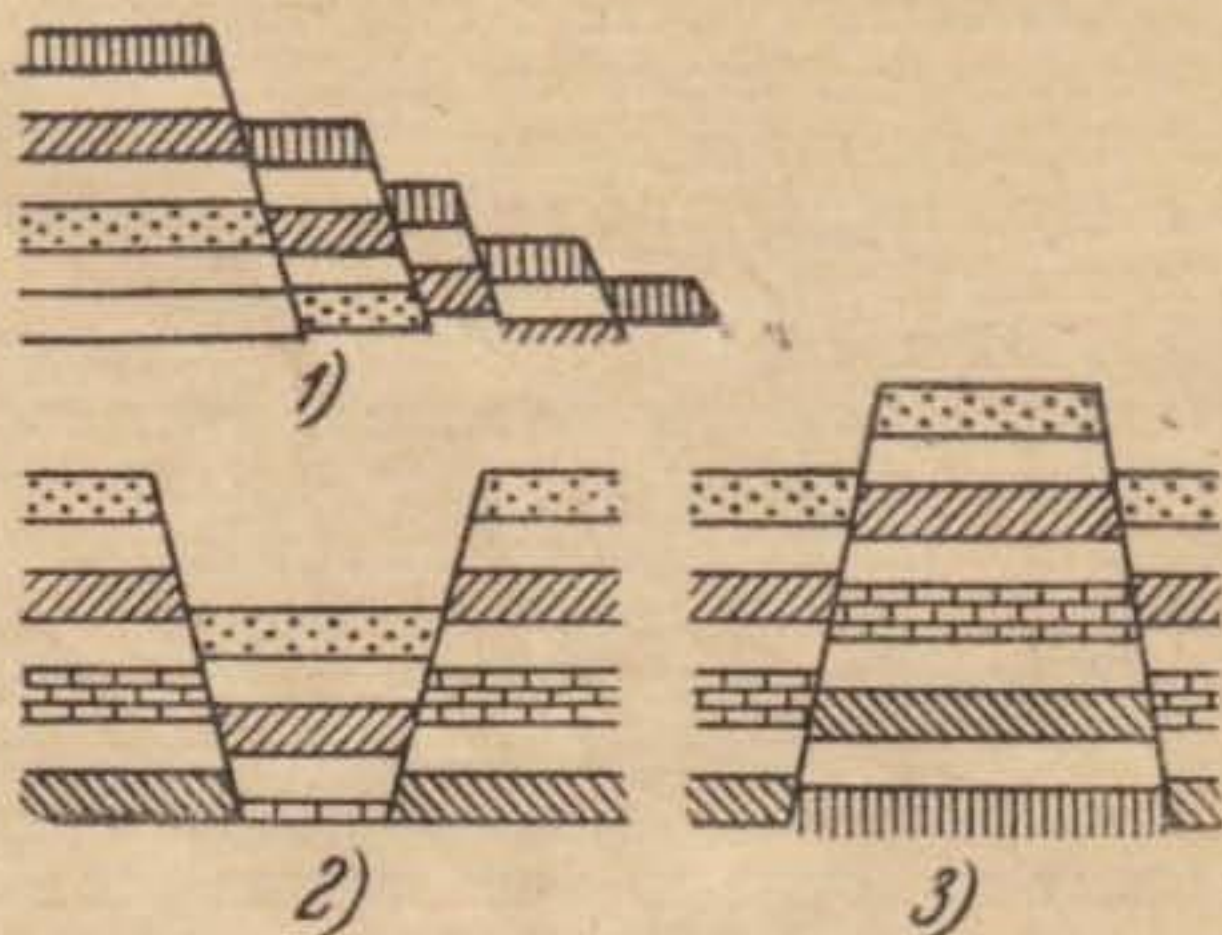


Рис. 36. Сложные сбросы. Фиг. 1—ступенчатый, фиг. 2—грабен, фиг. 3—горст



Горы, имеющие такое строение, носят название **глыбовых** или **складчато-глыбовых**, в отличие от складчатых и покровно-складчатых.

Из нашего беглого обзора ясно видно, какую роль играют различные дислокации в образовании гор.

Мы разделили дислокации на дизъюнктивные и пликативные и вместе с тем могли видеть, что нет резкой границы между той и другой группой.

Складка-сдвиг — несомненно складка, но вместе с тем мы должны назвать ее дизъюнктивной дислокацией, так как образование ее сопровождается разрывом слоев. И в самом термине «складка-сдвиг» сочетаются названия обеих групп дислокаций. Поэтому некоторые геологи предлагают подразделять дислокации на основании иного принципа, а именно в зависимости от направления тех сил, которые вызвали образование этих дислокаций.

Складки, надвиги и горизонтальные сдвиги явно возникают в результате проявления сил, действующих в горизонтальном, или тангенциальном, к земной поверхности направлении. Поэтому их объединяют в общую группу **горизонтальных, или тангенциальных, дислокаций**.

Сбросы, горсты, грабены и флексуры образуют группу **радиальных, или вертикальных, дислокаций**, так как движение, сопровождающее эти дислокации, происходит в вертикальном направлении, перпендикулярном поверхности Земли (параллельно земному радиусу) или имеет вертикальную слагающую.

Тангенциальные движения сопровождаются развитием сильного бокового давления. Помимо складок, сдвигов и надвигов, это боковое давление вызывает часто образование правильной системы трещин, или **диаклаз**. Одни из этих трещин расположены по направлению давления, другие перпендикулярно ему. Кроме того давление вызывает изменения и во внутреннем строении тех пород, которые ему подвергаются. В породах, содержащих окаменелости и подвергнувшись сдавливанню, эти окаменелости часто сильно сплющены в направлении перпендикулярном давлению. Самая порода уплотнена, и нередко в ней развивается тонкая, ложная слоистость, **кливаж**, или **сланцеватость**, тоже перпендикулярная давлению. Под влиянием давления может произойти даже изменение минерального состава породы. Есть химические соединения, которые устойчивы только в известных пределах давления. При повышении его они разлагаются и дают новые соединения, новые минералы. Мы уже знаем, что такое изменение минералогического состава породы и ее сложения, или структуры, называется **метаморфизацией**, а самые породы — **метаморфическими**, или **кристаллическими**, сланцами, так как они обычно имеют сланцевую структуру, а минералы, их слагающие, представляют собою кристаллы<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Внешняя форма кристаллических минеральных зерен, слагающих эти породы, очень несовершенна и не соответствует обычному представлению о кристалле как о правильном многограннике. Правильные кристаллические многогранники образуются только при условии свободного роста кристалла, например при свободном осаждении из раствора. Можно осадить из раствора и вырастить очень крупные и правильные кристаллы квасцов.

В кристаллических сланцах образование кристаллов происходит в тесном пространстве, под давлением, и они не могут принять правильной формы. Но кристаллы обладают целым рядом физических свойств, по которым мы можем узнать их, даже если внешняя форма их совсем неправильная или если в наших руках имеются только обломки этих кристаллов. Между прочим, кристаллы обладают особыми оптическими свойствами, которые могут быть изучены на прозрачных шлифах, помещенных на столик специального поляризационного микроскопа.



Кристаллические сланцы — вторая группа пород, принимающих участие в сложении горных систем наряду с нормальными осадочными породами. Обычно особенно глубокой метаморфизации подвергаются древние слои, слагающие горную цепь и обнажающиеся в ее центральных частях.

Мы видели, что западные предгорья Урала сложены из осадочных пород палеозойского возраста, содержащих окаменелости. Правда, под влиянием давления, сопровождавшего горообразование, эти породы несколько изменены по сравнению с соответствующими им по возрасту отложениями Русской равнины. Но их первоначальный характер выступает вполне ясно, и они по большей части содержат отпечатки и окаменелые остатки различных организмов, точно определяющих их возраст.

Высокие центральные хребты Урала сложены из кристаллических сланцев. В некоторых случаях легко бывает установить, какова была та порода, в результате изменения которой образовались эти сланцы. Так, например, самые высокие вершины Урала: мрачный Телос-Из, покрытый полосами нетающего снега, гора Народная и гора Карпинского, зубчатый Таганай, Иремель и Яман-тау — сложены из крепких кварцитов и метаморфизованных кварцевых конгломератов<sup>1</sup>, которые первоначально представляли собою песчаники и галечники. Эти породы являются особенно крепкими, трудно поддающимися выветриванию, и потому там, где они встречаются, мы находим наиболее высокие вершины хребта. Но на том же Урале широко развиты и другие кристаллические сланцы, настолько глубоко метаморфизованные, что первоначальный характер их может быть лишь с трудом установлен тщательным изучением под микроскопом в виде прозрачных, тонких шлифов. Все эти породы древнее содержащих окаменелости осадочных пород, развитых в предгорьях.

Разнообразные кристаллические сланцы находим мы в Центральном Кавказе и в других горных системах.

Почему же слои более древние являются более глубоко метаморфизованными? Чтобы ответить на этот вопрос, мы должны себе представить, каким воздействиям подвергались эти породы после своего отложения.

Мы видели, что главным материалом для образования горных цепей явились мощные толщи осадочных пород, которые длительно отлагались в море, расстилавшемся некогда на месте этих хребтов. Толщи осадков, непрерывно отлагавшихся в этих морях, могут достигать колоссальной мощности. Так, например, в Аппалачской горной цепи Северной Америки мы находим наслоения осадочных пород, достигающие 20 километров мощности. При этом все эти слои имеют согласное залегание. Согласным мы называем такое залегание пластов, при котором все они будут параллельны друг другу. Согласно залегает, например, серия горизонтальных, не подвергнувшихся дислокации пород или толщи пород, которые были деформированы одновременно так, что изгибы одного пласта точно повторяются всеми остальными (рис. 37, фиг. 1 и 2). Согласное залегание указывает на то, что данная толща пластов непрерывно отлагалась в каком-нибудь бассейне, а затем одновременно подверглась дислокации. Несогласным мы будем называть залегание, при котором наблюдаются толщи пластов не параллель-

<sup>1</sup> Конгломератом называется порода из галечника, отдельные гальки которого были скреплены в общую массу каким-нибудь цементом, например, известью, бурым железняком, или др. Цемент выделялся как химический осадок из водного раствора циркулировавшего в галечнике.



ных друг другу. Несогласие получается в результате перерыва в отложении, обусловленного дислокацией наступившего за ним поднятия гор и разрушения, после которого снова началось отложение. Схема несогласного залегания изображена на рис. 37 (фиг. 3 и 4), а на рис. 38 мы можем видеть картину несогласного залегания в природе.

Разбирая тот геологический разрез, который представляет собой рис. 38, мы можем составить себе следующее представление о событиях, совершавшихся некогда в данной местности. Здесь расстиралось море, в котором отлагались первоначально горизонтально п е с ч а н и к и

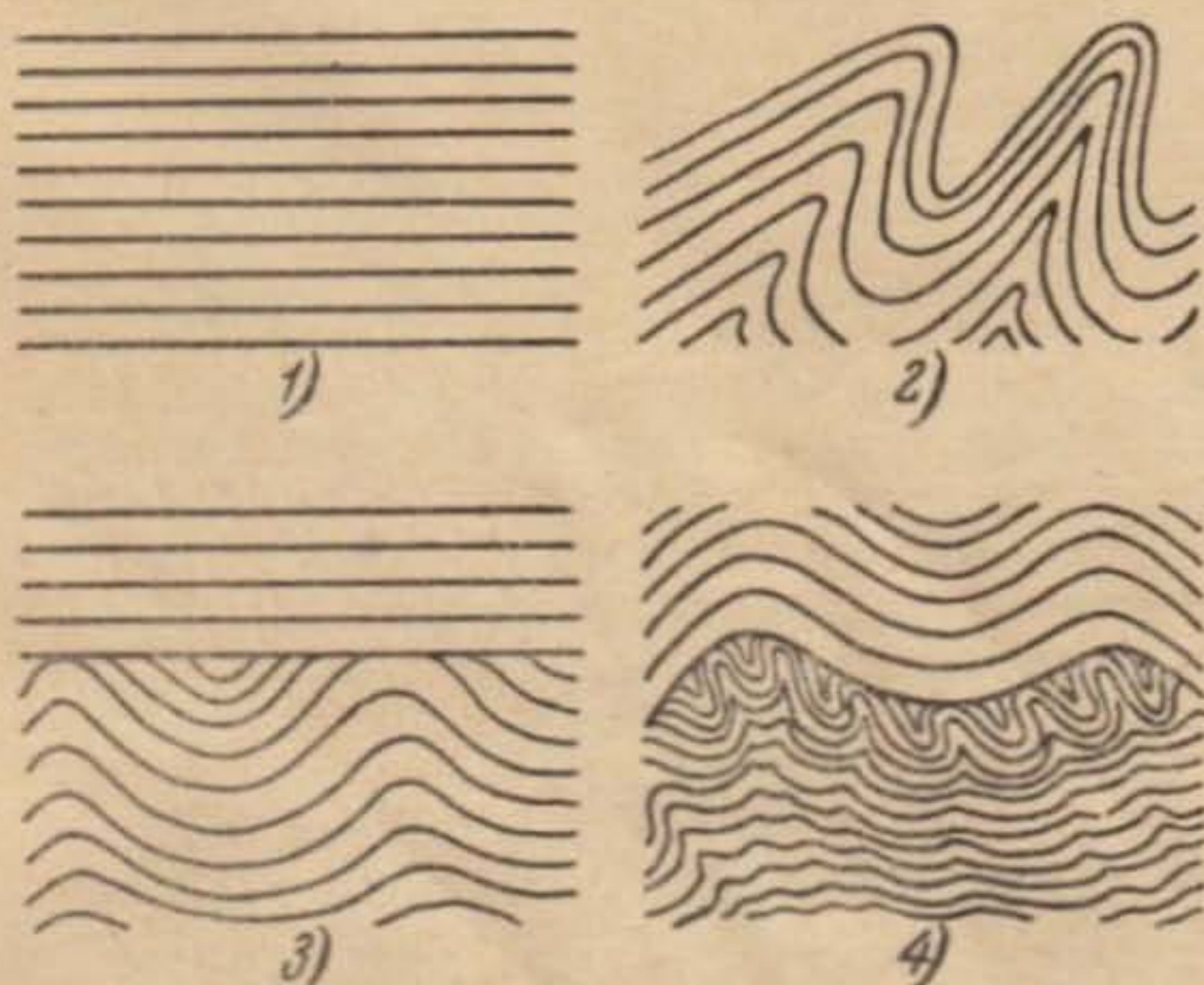


Рис. 37. Схема согласного и несогласного залегания.

Фиг. 1—согласное залегание горизонтальных пластов, фиг. 2—согласное залегание дислоцированных пластов, фиг. 3—несогласное залегание горизонтальных пластов на дислоцированных, фиг. 4—несогласное залегание двух дислоцированных серий пластов

нижней, впоследствии дислоцированной серии. Затем наступил горообразовательный процесс, в результате которого породы были выведены из горизонтального положения и область бывшего моря была превращена в сушу, повидимому в горную страну. В этой горной области начались неизбежные процессы разрушения, горы были размыты и на месте их возник пенеплен. Наконец, на выравненную поверхность бывшей горной страны снова надвинулось море и несогласно отложило свои известковые осадки поверх древних срезынных дислоцированных пластов песчаника.

Эту сложную историю мы можем восстановить, прочитав то, что написано природой на небольшом геологическом разрезе в естественном обнажении или в выемке каменоломни.

Несогласие в залегании может быть не только однократным, как в только что разобранным нами примере. Оно может повторяться два и три раза в данной серии пластов. Это указывает на повторение горообразовательных движений и на последовательные отступления и наступания моря.

Но во всех горных системах мы можем наблюдать отдельные серии согласно залегающих пластов очень значительной мощности. Такие серии непрерывно отлагались в одном морском бассейне, и иногда они могут достигать 20 километров мощности. Однако мы не знаем на Земле морских бассейнов такой глубины. Самые значительные глубины современных океанов не достигают 11 километров<sup>1</sup>. Но это отдельные, сравнительно небольшие по площади впадины. В общем же в океанах преоб-

<sup>1</sup> Глубоководная ложбина Тускарора у Курильских островов — 10 830 метров, впадина Тонго к северо-востоку от Новой Зеландии — 9 600 метров, Каролинская впадина у Марианских островов — 9 633 метра, впадина у Филиппинских островов — 10 793 метра.



ладают глубины в 4 000—5 000 метров. Да, если бы и существовали когда-либо на Земле морские бассейны в 20 километров глубиной, и заполнялись осадками, мы могли бы проследить постепенную смену фаций в этих сериях осадков. В основании лежали бы глубоководные отложения, которые постепенно сменялись бы все более мелководными. Такой смене фаций в вертикальном направлении часто не наблюдается в осадочных сериях, слагающих горные системы. Эти серии слагаются в общем из сравнительно однородных фаций, принадлежащих области средних и частью мелких глубин моря. Мы находим здесь органогенные осадки и различные терригенные отложения: известняки, конгломераты, песчаники, глины. Настоящих глубоководных осадков почти не найдено среди осадочных и метаморфических пород, слагающих горные цепи.



Рис. 38. Несогласное залегание горизонтальных пластов известняка на дислоцированных слоях песчаника

Каким же образом могли отложиться такие мощные согласные серии сравнительно мелководных осадков? Для объяснения этого, непонятного на первый взгляд, факта мы можем сделать одно только предположение. Дно того бассейна, в котором происходило накопление этих осадков, постепенно прогибалось и опускалось по мере их отложения. Когда прогибание происходило равномерно, со скоростью, соответствующей скорости отложения осадков, каждый последующий слой отлагался в тех же условиях, на тех же приблизительно глубинах, что и предыдущий. В результате получались мощные серии сходных фаций. Если опускание замедлялось, начиналось отложение более мелководных осадков, если оно ускорялось, отлагались более глубоководные слои.

Благодаря этому опусканию дна и могли отложиться те мощные серии однородных пластов, которые мы всегда встречаем в самых разнообразных горных системах. Изучение геологического строения гор указывает на то, что все они возникли на месте длительно опускавшихся подвижных участков земной коры залитых морем. Такие прогибы получили название геосинклиналей.



Горы образуются на месте геосинклиналей — вот первый, основной закон горообразования, который мы можем установить на основании изучения целого ряда горных систем. К вопросу о том, какие же силы заставляют подниматься длительно оседавшее дно геосинклиналей, сминают его в прихотливые складки и разбивают сбросами и сдвигами, мы вернемся впоследствии.

Сейчас мы остановимся только на судьбе тех наиболее древних пластов геосинклинальной серии, которые глубже всего опустились под покровом выше лежащих пород. В какие условия попадают эти отложения на той значительной глубине, до которой они погрузились? Наблюдение показывает, что по мере углубления в земную кору происходит возрастание температуры. Сначала мы имеем слой земной коры, в котором чувствуются суточные и годовые колебания температуры наружного воздуха. На глубине в среднем около 20 метров находится слой постоянной температуры. Термометр в подвале Парижской обсерватории на глубине 27,6 метра уже в течение 100 лет неизменно показывает  $11,85^{\circ}\text{C}$ . Но если мы будем далее углубляться в земную кору, температура станет возрастать в среднем на  $1^{\circ}\text{C}$  на 33 метра. Расстояние, на протяжении которого происходит возрастание температуры на один градус, носит название геотермической ступени. От геотермической ступени надо отличать геотермический градиент или, в переводе, градус земной температуры, т. е. величину возрастания температуры при углублении в толщу земной коры на расстояние 100 метров.

Возрастание температуры с глубиной было отмечено при закладке глубоких шахт, при проведении туннелей и закладке буровых скважин. Самые глубокие буровые скважины на Земле достигают 3 400 и 4 000 метров глубины. На глубине 3 000 метров отмечена температура  $140^{\circ}$ .

Кроме возрастания температуры, с глубиной возрастает и давление. Оно должно достигать уже 250 атмосфер на глубине 1 километра, если мы примем средний удельный вес земной коры 2,6, а на глубине 20 километров давление будет не менее 5 000 атмосфер.

Породы, опустившиеся на эту глубину, попадают в совершенно новые «термодинамические» условия<sup>1</sup> по сравнению с теми, которые наблюдаются на земной поверхности. Они попадают в условия высокой температуры и высокого давления. Кроме того они встречают здесь ряд новых химических веществ, или «агентов-минерализаторов», которые создают и иную химическую обстановку. В этих условиях многие минералы, устойчивые на земной поверхности, разлагаются, и, наоборот, снова образуются те минералы, которые на поверхности Земли выветриваются. Так, углекислые соединения не могут существовать при высоком давлении и высокой температуре. Они разлагаются с выделением углекислоты. Наоборот, соли кремневой и алюмокремневой кислоты устойчивы в этих условиях, и такие минералы, как полевые шпаты и слюды, могут вновь образоваться в глубине из продуктов выветривания когда-то получившихся на поверхности.

Мы видим таким образом, что процессы выветривания обратимы.

Проследим за судьбою гранита, подвергающегося разрушению на земной поверхности. В результате этого процесса, как мы знаем, получаются глина, песок и растворы углекислых солей. Все продукты выветривания могут быть унесены в море. Глина и песок отлагаются на дне геосинклинали вместе с прослоями известняка. По мере того как

<sup>1</sup> То-есть условия давления и температуры.



эти осадки опускаются в глубину, покрываясь все новыми отложениями, они подвергаются изменению. Под влиянием давления возникает сланцеватость, в данном случае параллельная напластованию, так как самое давление ему перпендикулярно. Высокая температура и частью давление вызывают химические перегруппировки и образование новых минералов, которые выделяются в виде кристаллов. Окатанные кварцевые песчинки превращаются в кристаллы кварца, известковые и другие углекислые соли, которые заключались в глине как примесь, разлагаются и в соединении с глиной могут дать кристаллы слюды и полевого шпата.

В результате получится порода, состоящая, как и гранит, из кварца, полевого шпата и слюды, но отличающаяся от гранита своей сланцеватостью. Такая порода представляет собою кристаллический сланец, называемый гнейсом. Это порода метаморфическая, в отличие от гранита, представляющего собою, как мы увидим далее, продукт застывания расплавленной каменной массы, или магмы. Но по составу своему гнейс сходен с гранитом.

Мы видим таким образом, что процессы метаморфизации происходят не только под влиянием давления, сопровождающего горообразование. На известной глубине, в так называемой зоне метаморфизма, всюду наблюдается глубокое изменение пород. Это изменение получило название областного, или регионального<sup>1</sup>, метаморфизма, в отличие от механического, или динамометаморфизма, обусловленного давлением, развивающимся при складкообразовании.

Процессы выветривания и метаморфизма обратимы. Ими обусловлен определенный цикл химических превращений в земной коре. Эти увлекательные и интересные картины химической жизни земной коры составляют предмет изучения минералогии и той части ее, которая носит название геохимии.

Нам понятно теперь, почему более древние слои бывают сильнее метаморфизованы—они опустились всего глубже и подвергались более значительному действию метаморфизирующих сил. Древние пласты выступают обычно в центральных частях горной системы, где произошло наибольшее поднятие, где энергичнее работали агенты разрушения, уничтожившие покров более молодых пород и вскрывшие глубокие слои. Поэтому предгорья и передовые цепи горных систем бывают обычно сложены из нормальных, или слабо измененных осадочных пород, тогда как во внутреннем «ядре» мы находим глубоко метаморфизованные кристаллические сланцы. И чем древнее горная система, чем глубже она разрушена, тем больше вскрыто это древнее кристаллическое «ядро» ее.

Кроме метаморфических сланцев, мы находим в этих центральных частях горных систем кристаллические породы иного происхождения. На Урале среди кварцитовых хребтов встречаются обширные, сравнительно пониженные, мягко очерченные массивы, сложенные из гранитов. Гранит, как уже было сказано, представляет собою породу, образовавшуюся в результате застывания расплавленной массы, находящейся в недрах Земли и называемой магмой. Мы видели, что в земной коре температура возрастает с глубиной, и можно непосредственно проследить это увеличение температуры до глубины 4 километров, достигнутой глубочайшими буровыми скважинами Земли. Если дальше геотермическая ступень сохраняет свою среднюю величину, на глубине 50—60 километров должны господствовать температуры, при которых, несмотря на высокое давление, все горные породы будут находиться в рас-

<sup>1</sup> От слова регион—область.



плавленном состоянии в виде раскаленной магмы. В земной коре за зоной метаморфизма следует зона магматизации.

При процессах горообразования, когда громадные участки земной коры, бывшие дном геосинклиналей, сминаются в складки, скалываются и нагромождаются одни на другие в виде покровов и надвигов, создаются условия, благоприятные для проникновения магмы в толщу осадочных и метаморфических пород. Магма как бы внедряется в полости складок образует громадные вторжения, или интрузии, частью вплавляя в себя окружающие породы. Такие большие магматические, интрузивные, или внедрившиеся, массы носят название батолитов (от слов «батос» — глубокий и «литос» — камень). Трещины сбросов являются удобными путями для движения магмы. По этим трещинам она может подниматься на поверхность Земли и давать те вул-

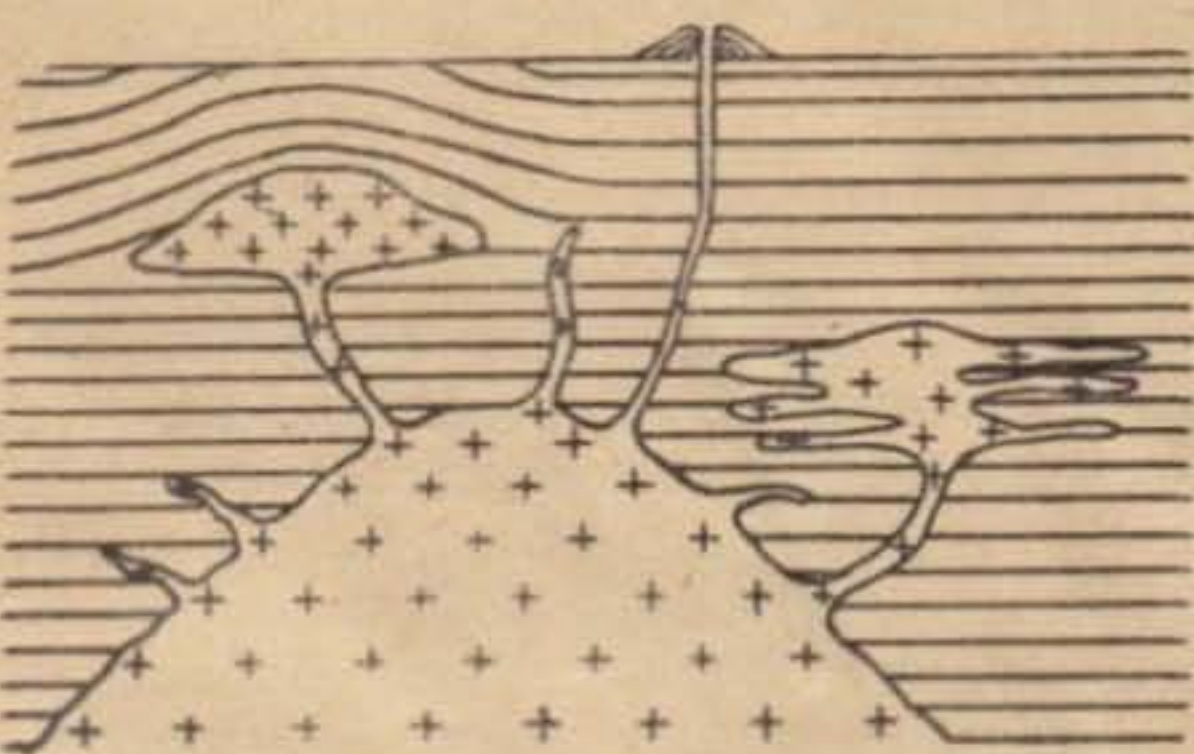


Рис. 39. Схема батолита, лакколитов и вулкана

канические извержения, о которых мы уже говорили. Излившаяся на поверхность Земли магма называется лавой. Лава, несомненно, сходна по химическому составу с магмой того глубинного очага, из которого она поднялась. Но она отличается от магмы отсутствием целого ряда газообразных веществ, которые выделяются при извержении. Лава — это магма, лишившаяся значительной части своих газов.

В некоторых случаях магма, поднимающаяся по трещинам земной коры, может и не достигнуть поверхности. Она как бы застревает на большей или меньшей глубине и образует небольшие внедрения, или лакколиты, имеющие часто каравасообразную форму. Лакколит отличается от батолита меньшими размерами и тем, что он не уходит, расширяясь, на неопределенную глубину, а имеет как бы «корень» — ту заполненную магмой трещину, которая связывает его с питающим очагом. Магма, застывшая в трещинах земной коры, образует разнообразные жилы. Соотношения между батолитами, лакколитами и вулканами можно видеть на рис. 39.

Породы, получающиеся в результате застывания магмы, называются магматическими, или массивно-кристаллическими, в отличие от кристаллических сланцев.

И те и другие сложены из кристаллов, но в массивных породах отсутствует сланцеватость, характерная для пород метаморфических. Есть и некоторое отличие между породами, излившимися на поверхность, и породами, застывшими на глубине. Породы, излившиеся, или вулканические, подвергаются быстрому охлаждению, причем не все составные части их успевают выделиться в виде хорошо образованных кристаллов. Часть материала застывает в виде стекловатой или очень мелкокристаллической массы, в которую вкраплены отдельные более или менее крупные кристаллы. Такое строение называется порфировым. Многие порфиры являются хорошими поделочными камнями. На отшлифованной поверхности их красиво выделяются крупные кристаллические вкрапления, выступающие на общем фоне мелкокристаллической или стекловатой основной массы.



Иногда вся порода застывает в виде темного, зеленоватого вулканического стекла, напоминающего бутылочное стекло и называемого обсидианом.

Стекловатое, неполнокристаллическое и порфиоровое строение характеризует породы излившиеся и позволяет нам отличить их от глубинных или плутонических<sup>1</sup>, пород. Последние в большинстве случаев имеют равномернозернистую полнокристаллическую структуру, подобно граниту, все составные части которого выделялись в виде кристаллов.

Батолиты и лакколиты скрыты в глубине земной коры. Но разрушительная работа внешних геологических деятелей может снести покров осадочных и метаморфических пород, которые их одевают, и вывести на поверхность Земли эти глубинные образования. Часто массивнокристаллические породы оказываются более устойчивыми, нежели осадочные. Поэтому нередко лакколиты резко выделяются в рельефе в виде своеобразных горных возвышенностей. Такие лакколиты представляют собою хорошо известная гора Аю-даг в Крыму, близ Гурзуфа и горы нашей Пятигорской группы: Бештау, Машук, Железная и др.

Горная система должна быть сильно разрушена для того, чтобы выступили глубокие интрузии типа батолитов. Поэтому обширные выходы на поверхность глубинных массивнокристаллических пород мы находим в более древних горных системах, как Урал или горы Сибири. С этими глубинными интрузиями обычно бывают связаны месторождения различных тяжелых и драгоценных металлов: железа, меди, олова, серебра, золота, платины и др. Отсюда понятно, почему горы более древние, сильнее разрушенные, как горы Сибири и Урала, Гарц и Саксонские рудные горы Германии богаче рудами, нежели высокие молодые горы, подобные Альпам или Гималаям.

Наоборот, памятником вулканических извержений, происходящих на поверхности Земли, являются породы, обширное развитие которых можно наблюдать и в самых молодых горных системах. И в наши дни совершаются эти извержения, на наших глазах происходит образование излившихся магматических пород.

Все современные действующие вулканы в своем распространении связаны с областями недавнего горообразования и преимущественно с областями, где развиты сбросовые дислокации, где происходили значительные расколы и опускания земной коры.

Магма может подниматься по трещинам расколов, с одной стороны, потому, что ее увлекают находящиеся в ней газы, стремящиеся подняться вверх, с другой — потому, что опустившиеся части земной коры, например в области грабенов, производят на нее определенное давление и как бы выжимают, выдавливают ее по окружающим грабен трещинам.

Хорошо можно видеть связь между расположением вулканов и расколами земной коры на острове Исландии, представляющими собою энергично действующий вулканический очаг. С расколами земной коры связаны большие вулканы Африки, вулканы расположенные на островах и по берегам Тирренского моря в Италии и др.

Мы видим, что процессы вулканизма тесно связаны с процессами горообразования. Интрузии глубинных пород сопровождают поднятие гор и частью, может быть, обуславливают его, а вулканические извержения являются следствием дислокаций, преимущественно дизъюнктивных.

<sup>1</sup> Плутон был богом ада или Тартара по античным мифам, а Вулкан — богом-кузнецом, обитавшем в жерле вулкана Волкано в группе Липпарских островов, близ Сицилии и ковавшим стрелы для Юпитера-громовержца и латы для богов.



Массивно-кристаллические породы могут принимать участие в горообразовании и, так сказать, пассивно. Если в какой-нибудь местности, после того, как там происходили дислокации и излияния лав, вторично наступит горообразование, эти древние вулканические породы будут дислоцированы и смяты в складки наравне с осадочными. Они также могут подвергнуться и метаморфизации. Мы знаем на Урале целые хребты, сложенные из сильно дислоцированных кристаллических сланцев, которые представляют собою продукт метаморфизации различных магматических пород.

Итак, горные хребты сложены из пород осадочных, массивно-кристаллических и из кристаллических сланцев, являющихся продуктом метаморфизации тех и других. Горы возникают на месте геосинклиналей — длительно слускавшихся прогибов земной коры, заполненных мощными сериями осадочных пород однородных фаций. Образование гор сопровождается дислокациями, и породы, слагающие горные цепи, имеют всегда нарушенное залегание. Результатом дислокаций является не только возникновение складчатых, покровных и глыбовых гор. Вулканические извержения и интрузии являются одним из следствий горообразовательных движений.

Процессы вулканизма тесно связаны с процессами горообразования.

Происходит ли сейчас горообразование? Какова вообще скорость поднятия гор и можем ли мы ее уловить? Повидимому складчатые процессы происходят очень медленно. Мы не можем непосредственно наблюдать и процесса поднятия складчатых гор, но мы можем судить о нем по его результатам. Косвенным путем мы можем вычислить ту скорость поднятия, которая необходима, чтобы горы могли образоваться вопреки разрушительной работе внешних деятелей. Эта разрушительная работа, конечно, начинается не тогда только, когда закончена постройка горной цепи. Она непрерывно сопровождает ее поднятие, и для того, чтобы горы могли образоваться, скорость этого поднятия должна быть больше скорости разрушения.

По количеству обломочного материала, выносимого из гор реками, можно составить себе приблизительное представление о размерах сноса и разрушения горных цепей. Такие подсчеты были сделаны для Альп. Оказалось что в среднем они понижаются на 10 сантиметров в столетие. При таком медленном темпе разрушения достаточно скорости подъема, примерно в 26 сантиметров в столетие для того, чтобы горы могли образоваться. Эта скорость неуловимо мала и, конечно, не может быть обнаружена непосредственным наблюдением. Складки и покровы, повидимому, образуются именно в результате таких крайне медленных движений земной коры. Но есть некоторые указания на то, что сбросы и сдвиги могут происходить быстрее, иногда, может быть, почти катастрофически. Мы знаем грандиозные сбросы, в которых поверхность сбрасывателя, обнаженная в поднятом крыле, обнаруживает совершенно одинаковую степень выветривания на всем своем протяжении. Если бы сброс образовался в результате неуловимо медленного опускания или поднятия одного из крыльев, то верхняя часть поднятого крыла была бы уже глубоко разрушена, и сброс не мог бы быть так ясно выражен в рельефе, как это обычно наблюдается.

Некоторые сбросы образуются на наших глазах. Они возникают в результате землетрясений. Так, например, в Японии при землетрясении 1891 года возник сброс размахом 10 метров, который мог быть прослежен на протяжении 20 километров и сопровождался сдвигом. Замечательный сброс обнаружен в Северной Монголии, южнее Косогола. Дли-



на его около 500 километров. Возник он в 1906 г. в результате землетрясения. Особенно значительные перемещения произошли при землетрясении 1899 года в Индокитае. После землетрясения со многих пунктов охваченной им местности открылся вид на такие вершины и области, которые ранее нельзя было наблюдать. Такое изменение было вызвано значительными вертикальными перемещениями отдельных участков земной коры в результате землетрясения.

Сами землетрясения представляют собою не что иное, как отголосок тех горообразовательных движений, которые совершаются в глубине земной коры. Есть так называемые вулканические землетрясения, обусловленные взрывами газов, сопровождающими поднятие расплавленных масс. Но эти землетрясения охватывают небольшие районы и тесно связаны с извержениями вулканов.

Большие же тектонические землетрясения, сопровождающиеся бедственными для человека разрушениями, охватывающие громадные районы и отмечаемые чувствительными приборами по всей Земле, несомненно связаны с дислокациями, совершающимися в настоящее время в глубине земной коры. На эту причинную связь указывает географическое распространение землетрясений. Они происходят в тех местах, где поднимаются молодые горы, где недавно происходили и происходят еще тектонические движения. К тектоническим землетрясениям относятся Японское землетрясение 1923 года, Крымское землетрясение 1927 года и последние землетрясения в Армении.

Тесно связанные между собою процессы горообразования, вулканизма и землетрясений обусловлены работой сил, источник которых находится в недрах нашей Земли. Мы называем эти силы внутренними или эндогенными, в противоположность внешним, или экзогенным силам, источником которых является энергия солнечных лучей. Мы видим, что те результаты, к которым приводит работа внутренних сил, прямо противоположны результатам работы внешних сил. Эндогенные силы создают неровности на поверхности Земли: горные цепи, конусы вулканов, впадины сбросовых рвов расчленяют и разнообразят рельеф нашей планеты. Экзогенные силы, наоборот, сглаживают все эти неровности и создают на поверхности земного шара однообразную равнину.

Для того, чтобы понять, к чему приведет эта борьба противоположных сил, мы должны знать, что является источником эндогенных сил и какова та энергия, которая скрыта в недрах нашей Земли.

Но прежде чем перейти к вопросу о причинах горообразования, мы должны познакомиться в общих чертах с историей горообразовательных движений земного шара и постараться подметить те закономерности, которые наблюдаются в процессах горообразования.

---



„Геологу нужен весь земной шар“

А. П. Карпинский

### ГЛАВА ТРЕТЬЯ

## История горных цепей земного шара

**К**ак можем мы установить возраст горной цепи? Как можем мы узнать в какие периоды истории Земли возникли те или другие горные системы?

Нам позволяет сделать это изучение несогласного напластования. Если у подножья гор лежат горизонтальные, не принимающие участия в дислокациях слои, ясно, что они отложились после того, как закончилось поднятие горной цепи. С другой стороны, все дислоцированные слои, слагающие эту цепь, должны были отложиться до ее поднятия. Отсюда естественно следует, что горная система поднялась в то время, которое протекло с момента отложения последнего дислоцированного пласта (*к* на рис. 40) до момента отложения первого горизонтального слоя, не принимающего участия в дислокациях (*т* на рис. 40).



Рис. 40. Схема, поясняющая способ определения возраста горных цепей

Если несогласное напластование наблюдается в самой толще дислоцированных пластов, слагающих данную горную цепь, это указывает

на то, что цепь эта создавалась в несколько приемов в результате повторных горообразовательных процессов. Тщательное изучение дислокаций в горах и исследования пород, развитых в равнинах, окружающих эти горы, терпеливый сбор окаменелостей из разнообразных пластов, позволяющий определить их возраст, описание всех разрезов и обнажений, которые можно найти в горах, в конце концов дают нам в руки достаточное количество фактов для того, чтобы определить относительный возраст различных горных систем и восстановить в общих чертах историю горообразовательных движений нашей Земли. Но не надо забывать, что это чрезвычайно трудная, кропотливая работа, которая далеко еще не закончена. Для того, чтобы разобраться в сложном строении одной только Альпийской горной системы понадобились упорные труды целых поколений ученых. И все же многое еще осталось невыясненным в строении Альп. В настоящее время работы советских геологов вносят много нового в наши представления о строении Восточных Альп и Карпат, с которыми им приходится ближе знакомиться в последние годы.



Другие горные системы значительно менее изучены, и много еще гор на Земле, которые почти не исследованы не только в геологическом, но и в географическом отношении.

Тем не менее нам удалось достигнуть уже значительных результатов в этом направлении, и грандиозные картины горообразовательных процессов земного шара, которые мы можем восстановить, вполне вознаграждают геолога за труд, который был затрачен им на изучение гор.

В самых общих чертах я познакомлю вас с историей горообразовательных движений так, как она рисуется нам в настоящее время. Будущие исследования, несомненно, внесут много дополнений к этой картине, но основные черты ее можно считать твердо установленными.

Большое значение для выяснения истории горных цепей земного шара имело геологическое изучение обширной территории СССР, широко развернувшееся после Великой Социалистической Октябрьской революции. Коренная перестройка народного хозяйства и индустриализации нашей страны, так же как и изменение ее политического строя и создание автономных республик с самостоятельными новыми промышленными и административными центрами потребовали огромного притока прочных строительных материалов и самых разнообразных полезных ископаемых, необходимых для всех отраслей промышленности. Для правильных поисков полезных ископаемых надо знать геологическое строение и геологическую историю тех районов, в которых предполагают их искать. Важнейшие рудные месторождения связаны с горными областями Земли, поэтому подробное геологическое изучение многочисленных горных хребтов Азиатской части Союза, очень слабо изученных до революции, представляло насущную и ответственнейшую задачу огромного народно-хозяйственного значения, вставшую перед советскими геологами. Надо сказать, что они с честью выполнили эту задачу. За тридцать лет существования советского государства не осталось неразведанных и совсем неизученных геологами пространств, которые представляли собою «белые пятна» на дореволюционных геологических картах нашей страны. Для всей громадной территории нашего Союза составляется в настоящее время геологическая карта в масштабе 1 : 1 000 000.

Нигде еще не было составлено карты такого масштаба для столь обширной площади земной поверхности. Вместе с тем для целого ряда горных областей, как например для Урала, Кавказа, Средней Азии, Казахстана, составлены более подробные крупномасштабные геологические карты. В тех местах, где в прежнее время были показаны почти равнинные области или «мелкосопочник», появились большие горные хребты, как, например, хребет Черского в северо-восточной Сибири, открытый С. В. Обручевым. И все эти как давно известные, так и вновь открытые горные хребты все глубже и глубже познаются неустанными трудами советских геологов. Горы открывают им тайны своего происхождения и развития, отдают им скрытые в их недрах богатства, необходимые для развития культуры, для укрепления силы и могущества нашей Родины.

Поскольку наша страна занимает площадь, составляющую  $\frac{1}{6}$  часть всей суши земного шара, изучение геологического строения этой площади и, в частности, находящихся в ее пределах горных хребтов, является крупнейшим вкладом в изучение геологического строения и геологической истории земного шара в целом.

Среди геологов, труды которых имели особенно большое значение для выяснения геологического строения и геологического прошлого нашей страны, нельзя не упомянуть академика В. А. Обручева, лично исследовавшего огромные пространства горных хребтов Сибири и Цент-



ральной Азии, давшего большие сводки и обзоры всех материалов по изучению этих стран, накопленных другими геологами и продолжающего энергично работать по опубликованию и обобщению всего собранного им материала. Большое значение имели работы академика А. П. Карпинского по строению, тектонике и географическому прошлому Европейской части Союза, в частности Русской равнины. Громадный вклад в изучение Русской равнины внесли работы академика А. П. Павлова. Он создал, кроме того, большую школу советских геологов. Его ученик академик А. Д. Архангельский продолжил и развил работы и идеи А. П. Карпинского и дал в последние годы своей жизни ценную сводку по геологическому строению и геологическому прошлому всей территории СССР. Огромное значение для познания и освоения горных богатств нашей страны имели работы академика А. Е. Ферсмана, охватившие и холодную область Кольского полуострова, и жаркие пустыни, и горные хребты Средней Азии, и старый Урал, и далекое Забайкалье.

Исключительный интерес представляют работы академика А. Н. Заварицкого по изучению современных вулканов нашего Союза. Большой вклад внес он и в исследование его древних горных областей, как например Урала.

Мы не можем перечислить всех более молодых талантливых и крупных советских геологов, работы которых ежегодно расширяют наши знания о геологическом строении и геологическом прошлом нашей страны, указывают пути, по которым надо идти для выявления богатств наших гор, ставят перед геологической наукой новые интересные вопросы.

Грандиозные горообразовательные движения, повидимому, происходили на Земле в отдаленные времена археозойской и протерозойской эр. Всюду, где мы можем наблюдать отложения, являющиеся памятником этих эр, мы отмечаем интенсивную дислокацию археозойских и протерозойских пластов. Они смяты в сложные складки, разбиты сбросами, прорезаны жилами и проникнуты интрузиями разнообразных массивно-кристаллических пород. Вместе с тем пласты эти подверглись глубокой метаморфизации, и часто очень трудно бывает установить их первоначальный характер. В них не сохранилось или почти не сохранилось окаменелостей, так что мы только по условиям залегания и частью по характеру пород можем установить их относительный возраст. В каждой данной местности глубже лежащие, сильно метаморфизированные породы—древнее покрывающих их, менее метаморфизированные породы—моложе. Сравнить же между собою археозойские и протерозойские отложения удаленных местностей и устанавливать одновременность их отложения очень трудно ввиду отсутствия руководящих окаменелостей.

Все это не позволяет нам точно восстановить историю этих эр и в частности — историю горообразовательных движений, совершившихся на Земле в те времена. На основании нескольких несогласий в самой толще археозойских отложений, точно так же как и в группе протерозойских слоев, мы можем сказать, что в течение тех длительных периодов времени, которые охватывают эти эры, совершилось несколько крупных горообразовательных процессов. Повидимому это были времена напряженной деятельности внутренних сил. Пласты земной коры сминались в складки, разрывались сбросами, по которым поднималась на поверхность раскаленная лава, производя грандиозные извержения. Огромные магматические массы внедрялись в земную кору и медленно застывали в виде гигантских батолитов. Мы можем думать, что в те времена земная кора была более эластична, более податлива на напор горообразо-



вательных сил, которые проявлялись всюду. Мы еще не знаем археозойских отложений, которые не были бы рано или поздно дислоцированы.

В большинстве случаев интенсивно смяты и протерозойские слои. Но наиболее молодые из них залегают иногда почти горизонтально. Это указывает на то, что к концу протерозойской эры некоторые участки земной коры как бы уплотнились и сделались неспособными сминаться в складки.

Повидимому сами процессы горообразования приводят к такому «уплотнению» земной коры. Тангенциальные дислокации, в результате которых нагромождаются лежащие складки и наволочные покровы, внедрение батолитов и лакколлитов, застывающих в толще осадочных пород, увеличивают мощность и устойчивость земной коры. Они делают ее в конце концов неспособной эластично сминаться под напором горообразовательных сил. Могучие тектонические движения археозойской и протерозойской эр создали там, где они проявлялись с особенной силой, первые устойчивые участки земной коры — древние «кристаллические щиты», или платформы. Те высокие горные кряжи, которые некогда поднимались на поверхности этих ныне выравненных платформ, давно уничтожены и размыты. На месте их расстилаются теперь обширные равнины. От гор сохранились только «корни», да и «корни» эти часто погребены под покровом более молодых осадочных пород. Вследствие медленных вековых колебаний суши, которые вызывают наступания и отступания моря, древние платформы неоднократно заливались морскими волнами. Мы находим на них континентальные отложения и морские осадки палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста, которые говорят о том, что эти платформы то представляли собой сушу, то были областью мелкого моря.

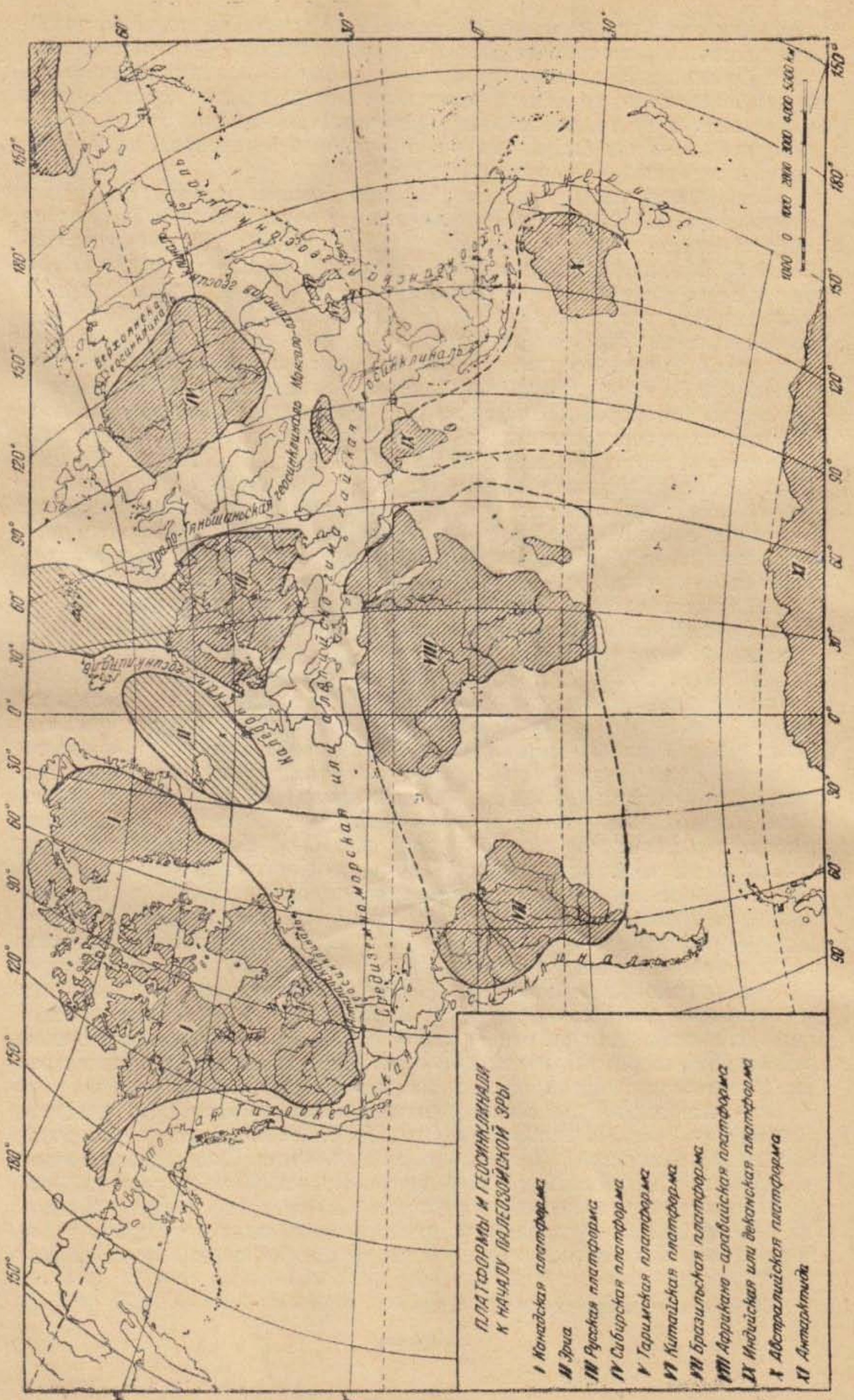
Но эти позднейшие отложения всегда лежат горизонтально, или почти горизонтально, всегда несогласно покоятся на сильно дислоцированном, срезанном древнем основании. Это убеждает нас в том, что древние платформы действительно с начала палеозойской эры являлись неподатливыми участками земной коры, устойчивыми по отношению к напору тангенциальных сил. Они могли медленно колебаться в вертикальном направлении, то погружаясь под уровень моря, то выступая из-под его вод и иногда высоко поднимаясь, могли быть разбиты сбросами, отдельные части их, как увидим далее, могли опуститься и исчезнуть под волнами океана, но интенсивных складчатых дислокаций и надвигов они уже не давали никогда. Они «устойчивы» с начала кембрийского периода — первого периода палеозойской эры. Поэтому их называют еще докембрийскими платформами.

Где же находим мы эти древние, укрепленные горообразовательными процессами, или кратогенные<sup>1</sup>, участки земной коры, называемые докембрийскими платформами. Это те области, которые в настоящее время заняты широкими равнинами с могучими, медленно текущими реками, мы можем познакомиться с ними по карте (рис. 41).

Основное ядро Европейского континента составляет Восточноевропейская, или Русская, платформа. Это область Кольского полуострова, Финляндии с Карелией, равнинной восточной части Скандинавского полуострова и обширной Русской равнины. Кольский полуостров и Финляндия сложены из археозойских и протерозойских кристаллических пород, едва прикрытых наносами ледников, сковавших эту страну в последнюю ледниковую эпоху. Прекрасный финский гранит, которым сбли-

<sup>1</sup> От греческого слова «кратос» — сила.





**ПЛАТФОРМЫ И ГЕОСИНКЛИНАЛИ  
К НАЧАЛУ ПАЛЕОЗОИЧЕСКОЙ ЭРЫ**

- I Канадская платформа
- II Эриа
- III Русская платформа
- IV Сибирская платформа
- V Таримская платформа
- VI Китайская платформа
- VII Бразильская платформа
- VIII Африкано-арабская платформа
- IX Индийская или деканская платформа
- X Австралийская платформа
- XI Антарктида



цованы набережные Невы, из которого сложены фундаменты памятников, дворцов и других зданий Ленинграда — наследие горообразовательных движений и интрузий далеких докембрийских времен, также как и сердобольский серый гранит Карелии. Финляндию называют страной воды и камня. Во впадинах рельефа, выпаханных ледником последнего великого оледенения, образовались многочисленные озера, а по берегам их всюду выступают древние кристаллические докембрийские породы. Их можно прекрасно изучить в естественных обнажениях и выходах. Поэтому именно в Финляндии особенно хорошо и полно изучена была история горообразовательных движений археозойской и протерозойской эр. Здесь очень ясно можно проследить, как последовательные смятия земной коры, сопровождавшиеся внедрениями расплавленных масс, постепенно укрепляли ее, делали ее все менее способной к образованию складок. Самые молодые протерозойские отложения — иотнийские песчаники — лежат горизонтально. Они разбиты сбросами вместе с подстилающими их более древними смятыми толщами. Таким образом уже к концу протерозоя в пределах Финляндии и прилегающих к ней областях Кольского полуострова и Карелии образовался жесткий устойчивый массив. Позднее под напором горообразовательных сил в этом массиве возникали уже не складки, а дизъюнктивные радиальные дислокации: сбросы, горсты, грабены. Эта область на протяжении своей последующей истории была склонна, главным образом, к медленным поднятиям. Поэтому в ее пределах почти и не отложилось морских осадков, которые скрыли бы под своим покровом древние кристаллические породы. Наоборот это была область разрушения и сноса древних докембрийских пород, дававших обломочный материал, отлагавшийся на Русской равнине. В огромном количестве принесены были обломки финских пород великим ледниковым покровом, оставившем их после стаивания на равнинах Русской платформы. Поэтому то мы находим теперь в окрестностях Москвы валуны финских гранитов, диоритов, гнейсов или красные, крепкие кварцитовидные шокшинские песчаники с берегов Онежского озера.

Финляндия, Кольский полуостров и Карелия — наиболее устойчивая часть Русской платформы, которая выделяется под названием Балтийского щита. Остальная часть — Русская плита, или Русская равнина, была областью чередующихся медленных опусканий и поднятий, с которыми были связаны наступания, или трансгрессии моря и отступления его, или регрессии. Памятниками таких колебаний являются чередующиеся пласты морских и континентальных пород, отложившиеся в различные периоды палеозойской, мезозойской и кайнозойской эр и покрывающие обширные пространства Русской равнины. Породы ее докембрийского фундамента выступают на поверхность только в некоторых местах Воронежской обл. и на Украине, в области так называемой Южнорусской, или Азовско-Подольской, кристаллической полосы. Выходы этих крепких пород по берегам Днепра обусловили образование знаменитых Днепровских порогов, которые являются могучим источником энергии, использованной Днепрогэсом. На остальном пространстве Русской равнины кристаллический фундамент погребен под мощной толщей осадочных пород и может быть обнаружен только при помощи буровых скважин. Так, например, по южному побережью Финского залива кристаллический фундамент был обнаружен на глубине 100 метров, а в области знаменитой Курской магнитной аномалии кристаллические породы, повидимому протерозойского возраста, были встречены на глубине 200 метров. В остальных частях Русской равнины они лежат еще глубже.



Так под Москвою глубокая буровая скважина встретила докембрийский кристаллический фундамент на глубине 1 656 метров, а в Кировской области в 60 км к югу от Кирова скважина, прошедшая 2 000 метров, еще не врезалась в кристаллические породы.

Мы будем в дальнейшем называть «щитами» только те, склонные к поднятию области платформы, в которых кристаллический фундамент выступает на поверхность.

В пределах обширного Азиатского материка находятся докембрийские платформы: Сибирская, Синийская, или Китайская<sup>1</sup> и Деканская, или Индийская, слагающая полуостров Индостан к югу от изменности, орошаемой Индом, Гангом и Брампутрой. Можно выделить еще небольшой устойчивый участок в бассейне реки Тарима, впадающей в озеро Лоб-Нор. Эта малая платформа получила название Таримской. Она отделяет систему Тянь-шаня от горных хребтов Куэнь-Луня.

Границы Сибирской платформы не совсем одинаково проводятся различными исследователями. Мы можем включить в пределы Сибирской платформы обширную область, расположенную между Енисеем и Леной, где осадки кембрийского моря залегают уже горизонтально, и область Прибайкалья, один из древнейших участков суши на земном шаре.

Область между Енисеем и Леной, подобно Русской платформе, то медленно поднималась, то погружалась, частично заливаясь морем. Ее кристаллический фундамент выступает на поверхность в области Анабарского массива в истоках реки Анабары и в области Алданского массива, прорезанной рекой Алданом. На остальном пространстве он прикрыт то более, то менее мощным плащом палеозойских или мезозойских отложений. В настоящее время многие участки Сибирской платформы высоко подняты над уровнем моря.

Прибайкалье представляет собою особенно интересный участок докембрийского щита, которому академик В. А. Обручев и известный австрийский геолог Э. Зюсс дали название «древнего темени Азии».

В этом районе, после крупных, укрепивших его горообразовательных движений докембрия наблюдалась одна только нижнекембрийская морская трансгрессия. После отступления нижнекембрийского моря здесь никогда больше не было морских условий. С тех отдаленных времен в Прибайкалье господствует суша и при неоднократных повторных горообразовательных процессах возникают расколы, которые разбили эту область на ясно выраженные в рельефе горсты и грабены. В одном из грабенов находится глубочайшее озеро земного шара — Байкал.

Этот древнейший участок суши в пределах Азии действительно заслуживает названия ее древнего темени.

Основное ядро Североамериканского континента представляет собою древняя Канадская платформа, охватывающая не только область Канады, но и Лабрадор, центральное плато Америки и арктическую часть материка вместе с архипелагом островов в Ледовитом океане и массив Гренландии. В пределах Североамериканского континента Канадской платформе принадлежит та равнинная область, по которой протекают могучая спокойная Миссисипи, широкая река Св. Лаврентия и величественная Мекензи. На этой платформе расположена группа Великих североамериканских озер, в ее приподнятую юго-западную часть глубоко врезалась река Колорадо.

<sup>1</sup> В пределах Китайской платформы в настоящее время различают 4 самостоятельных докембрийских массива: Ордосский, Северокитайский, Южнокитайский и Индокитайский.



Гренландия покрыта в настоящее время мощным ледяным панцирем. Лишь по окраинам ее, в полосе, непосредственно примыкающей к берегу, выступают породы, слагающие эту страну. Изучение прибрежных областей позволяет думать, что Гренландский докембрийский массив, подобно Балтийскому щиту, с начала палеозоя был склонен главным образом к медленным поднятиям. Гренландия представляет собою область, где древние археозойские и протерозойские породы на обширных пространствах выступают непосредственно на поверхность под покровом льдов. В пределах Североамериканского континента докембрийские породы слагают обширные пространства в местностях прилегающих к Гудзонову заливу: в средней и восточной Канаде, в США вдоль южной границы Великих озер, на полуострове Лабрадоре. Глубоко измененные кристаллические сланцы, мраморы и массивно-кристаллические породы вскрытых эрозией древних батолитов представляют собою прекрасный строительный материал, а с древними протерозойскими интрузиями связаны и месторождения тяжелых металлов. Но не всюду на обширном пространстве этой докембрийской платформы древние археозойские и протерозойские породы непосредственно выступают на поверхность, как в Канаде и Лабрадоре. Чаще они бывают скрыты под мощными толщами горизонтальных осадков более позднего возраста. Местами, в глубоких впадинах, созданных речной эрозией, как, например, на дне грандиозного каньона Колорадо (рис. 26), вскрыт этот древний кристаллический фундамент страны. В основании величественных разрезов великого каньона мы можем видеть сильно смятые археозойские породы, на которых лежат несогласно с ними дислоцированные протерозойские толщи. Эти последние в свою очередь несогласно покрыты мощной серией горизонтальных палеозойских пластов. Обнажения каньона Колорадо ясно говорят нам, что горообразовательные процессы, которые повторно совершались здесь в археозойские и протерозойские времена, закончились к началу палеозоя. С тех пор Американская платформа представляла собою область, неспособную давать тангенциальные дислокации.

Даже там, где мы не можем непосредственно наблюдать древний кристаллический фундамент страны, горизонтальное залегание палеозойских пород указывает нам на то, что мы находимся в пределах кратогенной докембрийской платформы. На этом основании и нанесены границы кратогенных платформ на нашей карте (рис. 43). Они соответствуют области распространения древних кристаллических пород, непосредственно выступающих на поверхность, и тем областям, в которых мы можем предположить существование этого древнего, более устойчивого фундамента, благодаря горизонтальному залеганию палеозойских и всех последующих пород.

Канадская, Русская, Сибирская и Китайская платформы представляют собой как бы кольцо кратогенных массивов, располагающихся в северном полушарии. Деканская платформа является частью экваториального кольца. К этому экваториальному кольцу относится Бразильская, или Южноамериканская, платформа, представляющая собою почти равнинную область, орошаемую могучими реками: Амазонкой, Ла-Платой и Параной.

Обширной докембрийской платформой является и значительная часть континента Африки с его однообразным рельефом и Аравийский полуостров. В пределах этой Африкано-Аравийской платформы расстилаются обширные пустыни и протекают величайшие реки Африки: Нил, Нигер, Конго, Замбези. Так же как и в пределах других платформ, кристаллический фундамент Африки не везде лежит на одинаковой глубине



и не всюду выступает на поверхность. Местами в нем наблюдаются впадины, выполненные позднейшими морскими или континентальными горизонтально залегающими слоями, местами выступы, в которых можно видеть древние кристаллические породы. Такие выступы чаще встречаются в южной и средней части континента, тогда как в северной они скрыты на больших пространствах под покровом горизонтальных палеозойских, мезозойских и третичных отложений.

Западная и Средняя Австралия и остров Мадагаскар тоже представляют собою части докембрийских массивов, входящие в состав экваториального кольца.

Наконец, насколько мы можем судить на основании имеющихся у нас скудных сведений, дислоцированные докембрийские породы слагают основу Антарктиды — южнополярного материка.

Эти древние докембрийские платформы явились ядрами наших будущих континентов. Континентальные массивы создались благодаря мощным горообразовательным процессам, сопровождавшимся тангенциальными дислокациями и внедрениями расплавленных масс. Такие горообразовательные процессы происходят, как мы знаем, на месте геосинклинальных областей и превращают геосинклинали в складчатые горные системы. Мы вполне убедимся в этом, прослеживая историю возникновения горных хребтов палеозойской, мезозойской и кайнозойской эр.

Мы говорили, что в отдаленнейшие времена археозойской эры вся земная кора была, повидимому, более податливой, более способной пластически изгибаться под напором внутренних сил. Лишь постепенно обособились в ней уплотненные участки и произошло разделение ее на устойчивые—кратогенные и податливые—орогенные, или геосинклинальные, области. К началу палеозойской эры уже совершенно ясно выступают эти два различные в тектоническом отношении элемента земной коры.

Мы видели, какие части наших современных материков соответствуют древним, так сказать «первозданным», континентальным массивам<sup>1</sup>. Но есть основание думать, что эти первозданные массивы были обширнее тех ядер, которые сохранились от них в настоящее время. На карте (рис. 41) нанесены пунктиром их очертания. Можно видеть, что обширный участок, залитый ныне водами Ледовитого океана составляет подводное северное продолжение Русской платформы. Австралийская платформа соединяется с Индийской и с островом Мадагаскаром в один большой платформенный массив, располагавшийся на месте нынешнего Индийского океана. Бразильская и Африканская платформы соединены в одно целое. Образованный ими докембрийский массив заполняет южную часть Атлантического океана, тогда как в северной располагается покоящийся ныне под волнами массив Эриа. Между обширными древними континентальными массивами, сформировавшимися в докембрии, располагались сохранившиеся к началу палеозоя геосинклинали. На вопрос о том, что было на месте Тихого океана, пока еще наука не дает определенного ответа. Одни ученые считают его древнейшим океаном нашей Земли, другие предполагают, что на месте его находились обширные континентальные массивы, погружившиеся впоследствии под уровень вод. Повидимому на дне Тихого океана имеются, с одной стороны, уча-

<sup>1</sup> Не надо забывать, что слово «континентальный массив» употребляется здесь в тектоническом смысле, в смысле кратогенного участка земной коры.

Континентальные массивы не представляют собою суши на всем своем протяжении. Более или менее обширные участки их могут быть залиты мелким «эпиконтинентальным» (надконтинентальным) морем.



стки типа древних платформ, с другой стороны, — геосинклинальные зоны различного возраста.

Что же позволяет нам так расширять границы щитов или смело соединять в одно целое Австралию, Индию и Мадагаскар или Африку с Южной Америкой? На основании каких данных помещаем мы в Северной части Атлантического океана никем невиданный континентальный массив Эриа? О возможности связи между континентами, которая продолжалась на протяжении длительных геологических периодов, нам говорит ряд разнообразных фактов и, между прочим, характер ископаемой прибрежной и сухопутной фауны Европы и Северной Америки, с одной стороны, Африки, Южной Америки, Индии и Австралии — с другой. Повидимому в различные геологические периоды сухопутные животные свободно распространялись по всему этому обширному пространству, значительная часть которого занята теперь пучинами океана, а прибрежные морские животные беспрепятственно расселялись вдоль береговых линий исчезнувших материков.

Существование массива Эриа определяется целым рядом геологических наблюдений. В северо-западной Шотландии, на Гебридских островах, у берегов Великобритании и на Лофотенских островах у берегов Норвегии выступают древние дислоцированные археозойские и протерозойские породы, как бы обрывки обширного кратогенного массива, который занимал некогда северную часть Атлантического океана. Можно предполагать это и на основании расселения мелководных морских животных начала палеозойской эры, которые встречаются в Англии, с одной стороны, в Северной Америке — с другой. Эти формы иногда совершенно тождественны, и можно проследить, как совершалось их переселение из одной области в другую. Если бы в те времена Атлантический океан имел свои современные очертания и глубину, он послужил бы непреодолимым препятствием для распространения этих мелководных форм. Большие океанические глубины для них так же непроходимы, как барьеры суши. Их расселение могло происходить только вдоль береговой линии, в полосе мелководья.

Кроме того позднее, в конце палеозоя, в мезозое и третичном периоде мы, повидимому, имеем временами свободный обмен сухопутной фауны между Европой и Северной Америкой.

Как мы увидим далее, древний массив Эриа соединился к этому времени с Канадской и Русской платформами, благодаря поднятию гор на месте окружавших его со всех сторон геосинклиналей.

Ограничимся приведенными фактами и посмотрим, каковы были дальнейшие судьбы докембрийских континентальных массивов и расположенных между ними геосинклинальных морей.

Первый период палеозойской эры — кембрийский является периодом относительного покоя земной коры. После могучих горообразовательных процессов конца протерозойской эры происходят сравнительно слабые тектонические движения. На материках разрушаются высокие горные цепи, и продукты их разрушения сносятся в геосинклинали, медленно прогибающиеся и накапливающие мощные толщи осадков. На дне геосинклиналей происходят мощные подводные извержения. Важнейшие центры вулканической деятельности находились тогда в области нынешних Саян, Салаирского кряжа и Урала. Об этом свидетельствуют излившиеся вулканические породы, которые переслаиваются с осадочными породами кембрийского возраста в этих горных хребтах.

Широкое геосинклинальное море отделяет экваториальные континентальные массивы от северного кольца докембрийских платформ. Это



широтный океан Тетис, который особенно ясно обозначится для нас в последующие периоды, благодаря тому, что осадки позднейших эпох лучше сохранились. Они детальнее могут быть изучены, и распространение их может быть прослежено полнее.

Платформы северного кольца тоже разделены геосинклиналями. Одна из них—Грампиенская—протянулась на месте нынешних Скандинавских гор и может быть прослежена до Шотландии и Ирландии к югу, до области Шпицбергена к северу. Она отделяет Североатлантический массив Эриа от Восточноевропейского докембрийского массива, или Балтийского щита с Русской плитой. Границей между Русской и Сибирской платформами являлось уральское геосинклинальное море, воды которого, вероятно, сливались с водами геосинклинальных бассейнов, затоплявших области, занятые теперь могучей системой Тянь-шаня. Это среднеазиатское геосинклинальное море, вероятно слившееся с азиатской частью океана Тетис, отделяло Сибирскую платформу от Индийской, а между Сибирской платформой и древними китайскими массивами протягивалась Монголо-Охотская геосинклинальная зона, на месте которой поднимаются теперь горы Саян, Забайкалья и Станового хребта.

Вдоль побережья современного Тихого океана располагались Восточная и Западная тихоокеанские геосинклинали. Их воды расстилались там, где теперь поднимаются, с одной стороны, могучие цепи Североамериканских Кордильер и Южноамериканских Анд, а с другой — Австралийские Кордильеры, гирлянды островов, охватывающих материк Азии и Австралии, и горные хребты Дальнего Востока, Колымы и Верхоянского края. Геосинклинальный бассейн находился на месте теперешней Аппалачской горной цепи Северной Америки. Повидимому море геосинклинального типа омывало с юга и большие экваториальные массивы.

Все эти геосинклинальные бассейны представляли собою моря особого типа: подвижные зоны земной коры, к которым, главным образом, была приурочена вулканическая деятельность земного шара, в которых на протяжении многих миллионов лет наблюдалось медленное погружение дна и параллельно с опусканием его шло накопление осадков. Временами в геосинклиналях могли происходить как бы «предварительные» горообразовательные движения, создававшие горные цепи, или гирлянды гористых островов в области морских бассейнов, после чего снова возобновлялось погружение и накопление осадков. Об этих «предварительных» горообразовательных фазах говорит несогласное напластование, а самый тип осадков свидетельствует о том, что для геосинклинальных морей характерны были контрасты глубин и наряду с островами, или мелководными зонами, где накапливались известковые скелеты придонных организмов, образуя толщи известняков, встречались глубокие впадины морского дна, где отлагались органогенные кремневые илы.

Представление об этих бассейнах может дать нам современная область Зондских островов, или область Тихого океана вдоль побережья Азии и Австралии, где мы находим и гористые острова, и напряженную вулканическую деятельность, и резкие контрасты рельефа. Эти области можно рассматривать как современные геосинклинальные зоны. В кембрийском периоде произошли предварительные горообразовательные движения в области Саян, Салаирского кряжа в пределах Уральской геосинклинали, в той части океана Тетис, где высятся теперь хребты Гималаев. Эта фаза складчатости называется салаирской. Она была как бы временным эпизодом в жизни некоторых геосинклинальных морей, погружение дна которых возобновилось в силурийском периоде.



Опускание геосинклинальных зон сопровождалось и некоторым погружением докембрийских платформ, на которые наступали мелководные моря, несогласно отлагая свои осадки на их смятом кристаллическом фундаменте. Эти моря, в отличие от геосинклинальных, называются эпиконтинентальными (т. е. «надконтинентальными»). Примером их в настоящее время могут служить Баренцево море, заливающее северную часть Русской платформы, Северное море с проливами Ламанш и Па-де-Кале, или Балтийское море, проникшее в область древнего ядра Европейского континента.

В кембрийском периоде наблюдались трансгрессии моря на Русской, Сибирской и Североамериканской платформах. Они сменились отступанием эпиконтинентальных морей в конце этого периода после салаирской фазы складчатости.

Особенно значительны были трансгрессии моря, возобновившиеся в силурийском периоде, когда теплые мелководные морские бассейны залили значительные пространства Сибирской и Североамериканской платформ и северо-западную часть Русской, когда под уровень воды погрузились обширные участки докембрийских массивов южного полушария. На Русской платформе памятником силурийской трансгрессии являются известняки развитые в Эстонии, в окрестностях Ленинграда, по берегам реки Волхова. Они служат важным строительным материалом для городов этой области и, в частности, для Ленинграда. Кроме того силурийские известняки встречаются в Подолии, которая тоже была захвачена морской трансгрессией во второй половине силурийского периода.

В конце силурийского периода происходят крупные горообразовательные движения. Это так называемая каледонская фаза складчатости. На месте Грампиенской геосинклинали поднимается могучая горная цепь Скандинавского полуострова, геологическое продолжение которой мы находим в Шотландии и Ирландии, с одной стороны, на Медвежьем острове, на Шпицбергене и в северо-восточной Гренландии — с другой.

В средней Англии, в Уэльсе, еще ранее, в середине силурийского периода произошли движения земной коры, которые были как бы предвестниками каледонской складчатости и выделяются в особую таконскую фазу, по имени Таконских гор Северной Америки. Таконская фаза складчатости особенно ярко выражена по восточной окраине Североамериканского континента, где складки среднесилурийского возраста могут быть прослежены от штата Виргинии до Новой Англии. В это время возникли Зеленые горы, поднимающиеся теперь в пределах штата Нью-Йорк.

Таконская складчатость отмечается и в некоторых других геосинклинальных зонах. Местами это были слабые предварительные движения, после которых эти геосинклинали снова опустились под уровень вод и в верхнесилурийскую эпоху продолжали накапливать мощные толщи морских осадков, местами таконские движения проявляются с большой силой, но нигде они не являются «окончательными» горообразовательными процессами, превращающими данные геосинклинали в платформы.

Те процессы, которые в конце силура смяли в складки дно Грампиенской геосинклинали и надвинули мощные покровы на окраину Балтийского щита, были окончательными горообразовательными процессами для этой геосинклинали. В результате их Грампиенская геосинклиналь исчезла навсегда. Она превратилась в часть устойчивого кратогенного массива и спаяла в одно целое Балтийский щит и докембрий-



ский массив Эриа. На месте ее поднялась высокая Скандинавская горная цепь, развалины которой стоят и до настоящего времени. С интрузиями, которые сопровождали складчатость в области Грампиенской геосинклинали, связано образование ряда рудных месторождений, в частности крупнейших месторождений железа в Швеции.

К каледонской горообразовательной фазе относится ряд тектонических процессов в области южной Сибири.

Широкая полоса каледонских гор охватила древнее темя Азии. К нему прочно примкнули вновь возникшие складчатые области западного Забайкалья и восточных Саян. При этом древний прибайкальский участок, уже неспособный к смятию, раскололся трещинами северо-восточного направления на ряд горстов и грабенов.

Крупные горообразовательные движения, повидимому, главным образом, таконской фазы, происходили в области нынешней Горной Шории, в Салаирском кряже, в Кузнецком Алатау и в западном Саяне, так же как в Казахстане, на Алтае и в области северных хребтов Тяньшаня. Вся эта обширная геосинклинальная зона превратилась на время в гористую страну, окаймлявшую Сибирскую платформу, с которой к концу силурийского периода отступили воды моря. Весьма вероятно, что значительные горообразовательные движения произошли в пределах нынешней Западносибирской низменности, палеозойские складки которой погребены под осадками позднейших морских трансгрессий. Отчетливо выступают следы каледонских движений и при изучении Верхоянского хребта, где отмечается несогласие между нижним и верхним силуром, указывающее на таконскую фазу складчатости, и несогласие между верхним силуром и средним девоном, свидетельствующее о более поздней собственно каледонской складчатости.

Таким образом к концу силурийского периода Сибирская платформа оказалась охваченной почти со всех сторон кольцом гор, поднятие которых как бы и ее увлекло за собою. Но из них только Саяно-Байкальская горная дуга оказалась прочным сооружением, превратившимся в новую часть платформенного массива, неспособную в дальнейшем сминаться в складки. Остальные части каледонского горного кольца уже в нижнем девоне начали погружаться под уровень моря и на месте их продолжали существовать геосинклинали.

Изучая девонские отложения этих областей, мы можем восстановить их историю и мысленно проследить, как гористая суша с многочисленными действующими вулканами постепенно заливается морем. Сначала оно узкими заливами вдавливается между горными хребтами в область долин, затем хребты все глубже и глубже погружаются под уровень вод и горная страна превращается в островное море.

В верхнем девоне морская гладь покрывает всю область будущего Алтая и морские волны плещутся там, где высятся теперь сверкающие снегами громады Тяньшаня и других горных хребтов Центральной и Средней Азии.

Но горообразовательные движения каледонской фазы оставили свой прочный след в этих областях. Мы узнаем о них не только по несогласному напластованию силурийских и девонских осадков, но и по интрузиям глубинных массивно-кристаллических пород, с которыми связан ряд ценных рудных месторождений.

Предварительные горообразовательные движения каледонской фазы происходили и в области Среднеевропейской геосинклинали, и в пределах океана Тетис, и в области будущих Австралийских Кордильер. Почти все геосинклинальные зоны земного шара были затронуты этими



движениями, но только часть образовавшихся тогда горных сооружений оказалась достаточно «прочной». Эти устойчивые участки каледонских складчатых областей проходят по окраинам древних докембрийских платформ, увеличивая их площадь и спаивая их в более обширные массивы. Так каледонские складки спаяли в одно целое Восточноевропейскую платформу (Балтийский щит), массив Эриа и северную часть Североамериканской платформы (Гренландию).

С окончанием каледонского горообразования наступает период относительного тектонического покоя. Вновь созданные горы подвергаются энергичному разрушению и обильный обломочный материал сносятся в геосинклинальные моря и на платформы, раскинувшиеся у подножья молодых горных хребтов.

В начале девонского периода докембрийские континентальные массивы подняты над уровнем моря и представляют собою сушу, как например вся Русская и вся Сибирская платформы. Но постепенно, по мере погружения геосинклиналей, в это нисходящее движение вовлекаются и платформы. С середины девонского периода в этих областях развивается морская трансгрессия. Больших размеров достигает она на Русской плите, которая почти вся заливаема морем в верхнедевонскую эпоху. Этот эпиконтинентальный бассейн связывает геосинклинальные моря Урала и Средней Европы и только северо-западная часть нынешнего Европейского континента представляет собою гористую сушу, с которой сносятся обломочный материал в прилегающие моря.

Но не успели еще разрушиться каледонские горы, как новые горообразовательные процессы нарушили покой земной коры. В каменноугольном и пермском периодах происходят грандиозные движения, в результате которых многие геосинклинали окончательно превращаются в мощные горные хребты и причленяются к континентальным массивам. Развалины этих гор стоят и поныне. Могучие цепи поднимались в каменноугольном периоде там, где мы находим теперь невысокие горы Средней Европы. Возвышенности южной Англии в области Корнуэльса, смятые в складки докембрийские и палеозойские породы полуострова Бретани, живописные угленосные горы Бельгии — Арденны, Центральный массив Франции, богатая углем область испанской Мезетты, сланцевые горы, поднимающиеся по берегам Рейна, Шварцвальд и Вогезы, воспетый поэтами Гарц и лесистые горы Тюрингии, Рудные горы Саксонии, Судеты и горы Польши — все эти невысокие в настоящее время возвышенности представляли некогда могучие цепи среднеевропейских «палеозойских Альп». Они поднялись из вод моря, которое с юга продолжало еще омывать их подножье. В заливах и лагунах по берегам этого моря, в озерах, раскинутых среди молодой горной страны, росли роскошные леса «земноводных» растений каменноугольного периода, давшие материал для образования мощных пластов каменного угля. Высокие хвощи — каламиты, гигантские плауновые растения — лепидодендроны и сигиллярии, древовидные папоротники поднимали свои причудливые кроны над водою, тогда как корневища их укреплялись в илистом дне лесных болот или в области низменного морского побережья.

По мере их отмирания погребались в илу исполинские стволы этих растений, скоплялись их листья и ветви. Из этого отмершего растительного материала, в результате медленного и неполного разложения его под водою без свободного доступа воздуха и последующего покрытия осадочными пластами, образовался каменный уголь. Залежи его не только в Европе, но и на других континентах тесно связаны с областью каменноугольной и пермской складчатости.



Палеозойские среднеевропейские Альпы впоследствии были сильно размыты, и на месте их создались обширные выравненные пространства.

Те возвышенности, которые мы теперь встречаем в этой древней складчатой стране, образовались благодаря позднейшим радиальным дислокациям, разбившим ее на горсты и грабены. Но об этом речь будет впереди.

Горные системы, поднявшиеся в Европе в каменноугольном периоде, получили общее название герцинских или варисцийских<sup>1</sup> гор.

В каменноугольном периоде поднялись Австралийские Кордильеры, заполнившие складками часть южной половины Западной тихоокеанской геосинклинали. На другой стороне Тихого океана, в области Андийской геосинклинали, в начале каменноугольного периода прошла волна складчатости, носившей предварительный характер. По северной окраине Африки, в области южной Сахары тоже произошли тектонические движения, создавшие здесь у южного побережья океана Тетис складчатую область. В герцинскую фазу возникли горы Бырранго вдоль северной окраины Сибирской платформы, в области нынешнего полуострова Таймыра.

Крупнейшие движения произошли в пределах океана Тетис. Он, вероятно, превратился в пермском периоде в морской бассейн с гористыми островами, полуостровами и перешейками, подобный современному Средиземному морю. Но это не были горообразовательные движения главной фазы и мы увидим, что еще долго в области океана Тетис будет существовать геосинклинальная зона. Громадное значение имели те движения, которые начались в середине каменноугольного периода в Урало-Тяньшаньской геосинклинали.

Если мы посмотрим на карту Европы и Азии, мы увидим, что Урал и Тянь-шань образуют как бы громадную горную дугу, обращенную выпуклой стороной к юго-западу. В состав этой дуги входит и складчатая область Казахстана, вероятное северное продолжение которой погребено под позднейшими осадками в области Западносибирской низменности. Мы уже знаем, что вся эта широкая складчатая область представляла собою в палеозое беспокойную геосинклинальную зону. О напряженной вулканической деятельности этой геосинклинали свидетельствуют разнообразные вулканические породы Казахстана, покровы лав, переслаивающиеся с силурийскими и девонскими морскими осадками на восточном склоне Урала, на Алтае и в северных дугах Тянь-шаня.

Начиная с силура в пределах этой зоны происходят горообразовательные движения, которые захватывают сначала внутреннюю сторону дуги, расположенную ближе к Сибирской платформе (таконская и каледонская складчатости), а в дальнейшем продвигаются все ближе к ее наружному краю. Каледонская складчатость охватила, как мы знаем, Салаиро-Саянскую горную область, Центральный Казахстан, северный Тянь-шань, и проявилась на Алтае. Салаиро-Саянская горная область причленилась к Сибирской платформе как жесткий массив уже неспособный к складчатости. В Казахстане, в северных дугах Тянь-шаня и на Алтае проявилась герцинская складчатость, но она была слабее, чем каледонская потому, что смятые в силуре участки сделались более «жесткими», менее способными к вторичному смятию. В герцинское время начались складчатые процессы и на восточном склоне Урала. Позднее, в середине и в конце пермского периода произошли повторные

<sup>1</sup> От древнего германского народа варисков.



и окончательные горообразовательные движения, охватившие уже всю область Урало-Тяньшаньской геосинклинали, включая южные дуги Тянь-шаня и западный склон Урала. В это время поднялись горы Урала и могучие цепи Алая; величественный Тянь-шань и Куэнь-Лунь также относятся к этой позднегерцинской фазе складчатости, которую иногда называют тяньшаньской. В эпоху окончательного формирования Урала и Тянь-шаня происходили более слабые, повторные движения и в области раннегерцинской складчатости Средней Европы, а также значительные горообразовательные процессы в области Пиренеев и в пределах Аппалачской геосинклинали, где возникли Аппалачские горы—ровесники Урала.

Мы знаем, что в настоящее время Тянь-шань и Куэнь-Лунь являются одними из высочайших гор Земли. Вершины Алая также покрыты снегами и ледниками, тогда как лишь немногие высшие вершины Урала превосходят 1500 метров высоты над уровнем моря. Средняя высота уральских гор не более 800—900 метров, а местами, как на Среднем Урале, и еще ниже. Такую незначительную высоту имеют и почти одновременно с ними поднявшиеся среднеевропейские горы. Почему же горные цепи одного или приблизительно одного возраста так различны по высоте? Ведь внешние деятели одинаково упорно должны были работать над их разрушением, и в настоящее время мы всюду в области герцинской и тяньшаньской складчатости должны были бы встретить сходные ландшафты и сходный рельеф. Небольшие отличия в рельефе отдельных горных систем могли быть вызваны разным характером пород, их слагающих, или различными климатическими условиями. Климат, как мы знаем, влияет на работу внешних деятелей.

Различная высота горных цепей герцинской фазы складчатости объясняется различной судьбою их в последующие периоды геологической истории. Мы уже говорили, что горы Средней Европы, в основе своей представляющие древние цепи складчатого и покровного строения, в настоящее время должны быть названы складчато-глыбовыми горами. Их современный рельеф объясняется теми радиальными дислокациями, которые значительно позже разбили эту почти выравненную горную страну на отдельные горсты и грабены. Такие же дислокации, но несравненно более грандиозного масштаба произошли и в области Алая, Тянь-шаня и Куэнь-Луны после того, как они были почти превращены в пенеплен.

Когда же совершались эти грандиозные вторичные движения? К этому вопросу мы вернемся несколько позже, а сейчас посмотрим, как повлияла герцинская и тяньшаньская складчатость на очертания континентальных массивов и распределение геосинклиналей.

На рис. 42 мы можем видеть, какие крупные изменения произошли в северном полушарии к концу палеозоя. Исчезли геосинклинали, разделявшие Канадскую, Эрийскую, Восточноевропейскую и Сибирскую платформы. Все эти разрозненные докембрийские ядра слиты в один громадный палеарктический континентальный массив, к которому с юга причленились горные системы, поднявшиеся из вод Тяньшаньской геосинклинали.

На поверхности массива простирались величественные горные цепи и синели обширные озера. Одни части его представляли собою сушу, населенную своеобразными животными и растениями, другие были залиты впоследствии эпиконтинентальными морями. Но с отдаленных времен палеозойской эры в пределах Палеарктики не возникало новых геосинклиналей и не поднималось больше складчатых гор. Только разломы



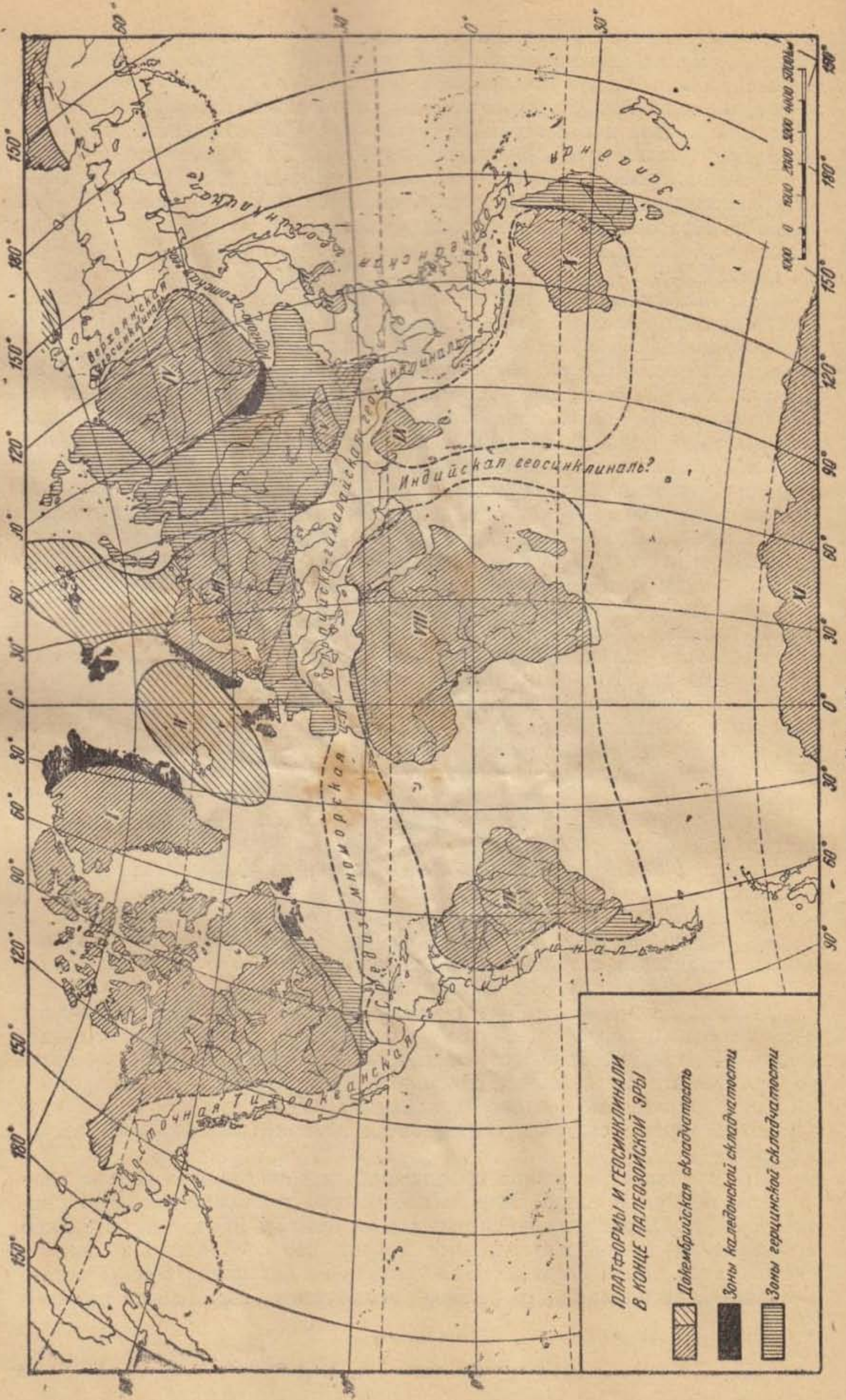


Рис. 42



радиальных дислокаций могли рассекать этот громадный кратогенный участок земной коры и создавать на его поверхности глыбовые горы или обширные впадины. Разросся и массив Гондваны за счет причленения Австралийских Кордильер и герцинских складок южной Сахары.

Восточная и Западная тихоокеанская геосинклинали почти не были затронуты герцинской складчатостью и продолжали существовать в продолжение всей мезозойской эры, так же как и большая широтная геосинклиналь, которую мы назвали океаном Тетис. Эта геосинклиналь только сузилась благодаря палеозойским горообразовательным движениям. В мезозое ее теплые синие воды расстилались в тех местах, где теперь поднимаются высочайшие горы Земли — Альпы, Кавказ, Гималаи и другие цепи, окружающие Средиземное и Черное моря и доходящие до Тихого океана. Тетис, остатки Монголо-Охотской геосинклинали, Восточная и Западная тихоокеанские геосинклинали — вот те орогенные зоны, которые сохраняются на поверхности Земли после герцинской и Тяньшаньской фаз складчатости.

Герцинская складчатость представляет для нас особый интерес, как важнейшая металлогеническая или металлородная фаза в жизни Земли. Грандиозные интрузии расплавленной магмы, сопровождавшие формирование герцинских хребтов, принесли с собою разнообразные соединения тяжелых металлов и редких элементов, образовавшие ряд ценных рудных месторождений. Одни из этих рудных залежей возникли на контакте громадных гранитных батолитов с окружающими осадочными породами, как например, Магнитогорское месторождение железных руд и месторождение горы Благодати на Урале, или залежи Гумишевских и Меднорудяньских медных руд в том же горном хребте. В других случаях, при медленном процессе остывания и кристаллизации магмы, кристаллы тяжелых металлических соединений, например, магнитного, титанистого, или хромистого железняка, или зерна платины, выделяющиеся раньше других минералов, медленно опускались на дно очага и давали здесь скопления «магматических» руд. Таково происхождение месторождений хромита, титано-магнетита и коренных месторождений платины на Урале.

Не менее интересные процессы образования руд и других ценных минералов происходят в жилах, отходящих от магматических очагов, особенно в жилах, связанных с батолитами гранита. В одних из этих жил, называемых пегматитовыми, минералы выделяются из магмы, нагретой до 700° и насыщенной парами диссоциированной воды и различными летучими соединениями и газами. С пегматитовыми жилами связаны знаменитые месторождения драгоценных камней на Урале. В месторождениях Мурзинки, в изумрудных коях реки Токовой, в области Ильменских гор, где основан теперь минералогический заповедник, в Качкарских россыпях — с давних времен добывались замечательные уральские камни: голубые или водянопрозрачные топазы, густофиолетовые аметисты, розовые турмалины, бериллы и зеленые изумруды, не уступающие по красоте знаменитым изумрудам Колумбии, громадные кристаллы прозрачного или дымчатого горного хрусталя и целый ряд других интересных и редких минералов. Основная порода, заполняющая пегматитовые жилы, тоже очень красива. Это так называемый письменный гранит или еврейский камень. Он состоит из правильно сросшихся, однообразно ориентированных кристаллов полевого шпата и кварца. Кристаллы кварца образуют на фоне полевого шпата узор, который напоминает древнееврейские письмена. Отсюда и название породы, иначе называемой пегматитом. Особенно красивы пегматиты Ильменского за-



поведника, в которых полевой шпат представлен зеленым микроклином. Эта зеленая пегматитовая порода называется амазонским камнем.

В других жилах, называемых гидротермальными, минералы выпадают из горячих растворов. Основное «тело» жилы образуют кварц, или кварц и кальцит. С гидротермальными жилами связаны коренные месторождения золота и месторождения разнообразных сернистых руд: свинцового блеска, часто с примесью серебра, цинковой обманки, сернистого железа, или пирита, сернистой ртути, или киновари и др.

На Урале мы встречаем все эти разнообразные минералы и руды. Урал — колыбель русского горного дела и школа первых русских геологов. Не менее богаты рудами Алтай и область Казахстана. В Западной Европе—Гарц, Саксонские рудные горы, Судеты, горы Тюрингии сыграли важнейшую роль в развитии горной промышленности Германии.

Герцинские хребты особенно богаты рудами не только потому, что внедрения расплавленных масс, сопровождавшие их образование, принесли с собою богатые запасы металлов, но и потому, что горы эти достаточно разрушены, во многих местах с батолитов частично снесен скрывавший их покров осадочных пород и на поверхность выступают то зоны контактов, то пояс жил, то глубокая зона магматических месторождений. В более молодых хребтах все эти интересные области интрузий могут быть еще скрыты под толщей осадков, а в очень древних, докембрийских складчатых областях, наоборот, может быть размывта и снесена и жильная зона, и зона контактов.

После этих грандиозных горообразовательных движений и мощных вулканических процессов, которыми они сопровождались, наступает недолгий период относительного затишья. Еще сравнительно недавно всю мезозойскую эру считали периодом абсолютного покоя земной коры. В течение того длительного времени, которое она обнимает, сносились и разрушались герцинские и Тяньшаньские горные цепи, давая материал для отложения мощных осадков в геосинклиналях, т. е. для будущих горных цепей.

В триасовом<sup>1</sup> периоде после герцинских и Тяньшаньских горообразовательных движений обширные области докембрийских платформ и примкнувших к ним горных хребтов были приподняты и представляли собой сушу. Так же как и в девонском периоде, после каледонского горообразования, с гор сносился обильный обломочный материал, отлагавшийся на платформах в виде красных песков и галечников, а в озерах в виде слоистых пестрых мергелей. Осадки этого типа, отложившиеся в конце пермского и начале триасового периода на Русской платформе, выступают теперь в живописных обрывах по берегам Оки от Мурома до Горького, по берегам Волги от Горького до Тетюшей и в бассейне Камы. Их можно видеть и во всей почти области западного Приуралья, куда они сносились с разрушившегося Уральского хребта. Климат, сильно охладившийся в начале пермского периода, стал сухим и жарким во многих областях земного шара во второй половине перми и в триасе. В связи с развитием больших материковых пространств, обширные участки суши, отгороженные горами от моря, превращаются в пустыни. В озерах и морских лагунах пермского и триасового периодов, так же как и в девоне, происходит отложение солей, но в более грандиозных размерах. В лагунах пермского моря отложились величайшие в мире запасы ценных, легко растворимых солей калия, которые так

<sup>1</sup> Триасовым, или тройственным, первый из периодов мезозойской эры назван потому, что отложения этой системы в Германии, где они впервые были детально изучены, легко могут быть разбиты на три отдела.



нужны как удобрение для сельского хозяйства и употребляются в разнообразных отраслях промышленности. Самое крупное мировое месторождение калийных солей находится в СССР у Соликамска. Оно образовалось в конце нижнепермской эпохи. Во второй половине пермского периода отложились стассфуртские соляные залежи Германии—второе по своему значению месторождение калийных солей земного шара. Отложение солей продолжалось и в триасе. Большие залежи каменной соли образовались, например, в лагунах сильно сузившегося в это время островного моря Тетис. Триасовые залежи солей разрабатываются в горах Тироля, близ Зальцбурга.



Рис. 43. Капские горы южной Африки

Если каменноугольный период был эпохой углеобразования, то пермский период можно назвать временем солеобразования. Это не значит, конечно, что на всем земном шаре климат был сухой и всюду отлагались химические осадки. В том же пермском периоде были на поверхности Земли и влажные районы с обширными участками лесных болот. К этому периоду относится образование большей части углей Кузнецкого бассейна и грандиозных запасов величайшего в мире Тунгусского угленосного бассейна, образовавшиеся в условиях влажного и сравнительно умеренного климата. В это время в районах нынешней Кореи и Ордоса развивалась роскошная тропическая растительность, а в области южного полушария найдены следы обширного нижнепермского оледенения. Все это говорит о том, что после мощных горообразовательных движений и поднятий горных хребтов климат на земном шаре становится более контрастным и разнообразным, сильнее подчеркивается разница между климатическими зонами, а благодаря регрессиям моря на платформах, всегда следующим за горообразованием, расширяется и пояс пустынь. Мы могли отметить все эти явления в начале девонского периода после каледонской фазы складчатости. Они повторяются в пермском и триасовом периодах, в связи с горообразованием герцинской и Тяньшаньской фаз.



Триасовый период был временем некоторого тектонического покоя, но уже в конце его начались движения мезозойской, или тихоокеанской, горообразовательной фазы. Первый этап этой складчатости носит название раннекимммерийского.

Это время образования Капских гор, украшающих южное побережье Африки (рис. 43), время предварительных движений на Кавказе и крупных горообразовательных процессов в Индокитае, в восточной части Тетиса.

После раннекимммерийских движений начинается медленное погружение океана Тетис и опускание платформ, обуславливавшее трансгрессию юрского моря. Оно залило в верхнеюрскую эпоху значительную часть Русской платформы и область герцинских складок Средней Европы. Европейский континент превратился в это время в архипелаг островов. Самым крупным из них был северный остров — область Балтийского щита и Скандинавских гор. Трансгрессия моря прерывается верхнеюрской, или позднекимммерийской, складчатостью, резко проявившейся на Кавказе и в Крыму, а также на Дальнем Востоке в области нынешнего хребта Сихотэ-Алинь, в пределах восточного Забайкалья, и особенно в средней части Кордильерской геосинклинали, где поднялись в это время горы Сьерра-Невады.

В меловом периоде возобновляются морские трансгрессии, особенно значительные в верхнемеловую эпоху. Характерным осадком верхнемелового моря является белый песчаный мел, отложившийся на обширных пространствах Русской равнины и Средней Европы.

Но морская трансгрессия прерывается поднятиями, связанными с последними и наиболее значительными проявлениями тихоокеанской складчатости. Они произошли в середине и в конце мелового периода и особенно ярко проявились в Тихоокеанских геосинклинальных зонах, создав вокруг величайшего океана Земли «Золотое» горное кольцо. В меловом периоде поднялись прочные горные хребты в области Верхоянской геосинклинали, окончательно сформировались горы Сихотэ-Алиня и восточного Забайкалья, восточные цепи Североамериканских Кордильер и прошла главная фаза складчатости Анд. Сплошное кольцо мезозойских гор окружило Тихий океан. Между ними и океаном сохранилась только узкая зона, не захваченная меловыми горообразовательными процессами.

Как всегда, возникновение складчатых гор на месте геосинклиналей сопровождалось интрузиями магмы, которые несли с собою соединения тяжелых металлов и разнообразных редких на земной поверхности элементов. Рудные богатства Тихоокеанского кольца связаны именно с мезозойскими интрузиями. Докембрийские интрузии областей, прилегающих к мезозойскому складчатому поясу, сильно пострадали от последующей длительной эрозии, или были погребены под слоями более молодых осадков. Предварительные тектонические процессы, происходившие в некоторых частях Тихоокеанских геосинклиналей в палеозое, сопровождались лишь слабыми проявлениями глубинного вулканизма. В большинстве случаев мы совсем не встречаем палеозойских интрузий и связанных с ними рудных месторождений в области мезозойского Тихоокеанского складчатого пояса, так как палеозойская складчатость, особенно герцинская, проявилась здесь очень слабо.

Наоборот крупные горообразующие процессы мезозоя сопровождались обширными интрузиями, контактовые и особенно жильные зоны которых уже вскрыты последующим разрушением. Эти зоны исключительно богаты месторождениями цветных металлов, особенно золотом и оло-



вом, месторождениями мышьяка, сурьмы, висмута, серы. По словам академика С. С. Смирнова, специально изучавшего советскую часть «Золотого кольца» и давшего ряд интересных обобщений по вопросу о структуре и рудных богатствах всего Тихоокеанского горного пояса: «От мыса Горн до Аляски и от Чукотского полуострова до Новой Зеландии протягивается почти непрерывный пояс «молодых» рудных месторождений, составляющих в своей совокупности один из главных источников богатств мира. Стоит вспомнить западные штаты США, Чили, Боливию, Перу, Мексику, Британскую Колумбию, Малайский полуостров.



Рис. 44. Гора Белуха на Алтае

Забайкалье, Охотско-Колымский район и др. Золото и серебро, олово, вольфрам и молибден, свинец, цинк, медь, мышьяк, сурьма, висмут, ртуть и ряд других металлов встречаются в пределах Тихоокеанского пояса в многочисленных и часто очень крупных концентрациях. По некоторым же из только что перечисленных металлов, Тихоокеанский пояс занимает почти что монопольное положение».

Перечисленные элементы характерны для рудных жил и поэтому так обильны в более молодых мезозойских горных областях. Наоборот, магматических месторождений железа, платины, месторождений редких элементов в Тихоокеанском поясе значительно меньше, чем в более глубоко разрушенных герцинских горных хребтах.

Но наибольшего напряжения напор горообразовательных сил достигает в кайнозойскую эру, во вторую половину и в конце третичного периода. Это время могучих дислокационных процессов и следующих за ними поднятий, когда воздвиглись высочайшие горы Земли, а континенты и океаны приняли свои современные очертания.

Там, где синели теплые воды Тетис, где на протяжении всей мезозойской эры строились коралловые рифы, отлагались мощные толщи из-



вестняков и разнообразных терригенных осадков, поднялись теперь белоснежные вершины Альп, Атласа и перестроенных Пиренеев, вышли из моря цепи Апеннин, Карпат и возникли горы Балканского полуострова. Завершилось в это время созидание Кавказа, поднялись горы Ирана, Копетдаг и воздвигалось «Подножье солнца» — Памир<sup>1</sup> (рис. 45), Осле-

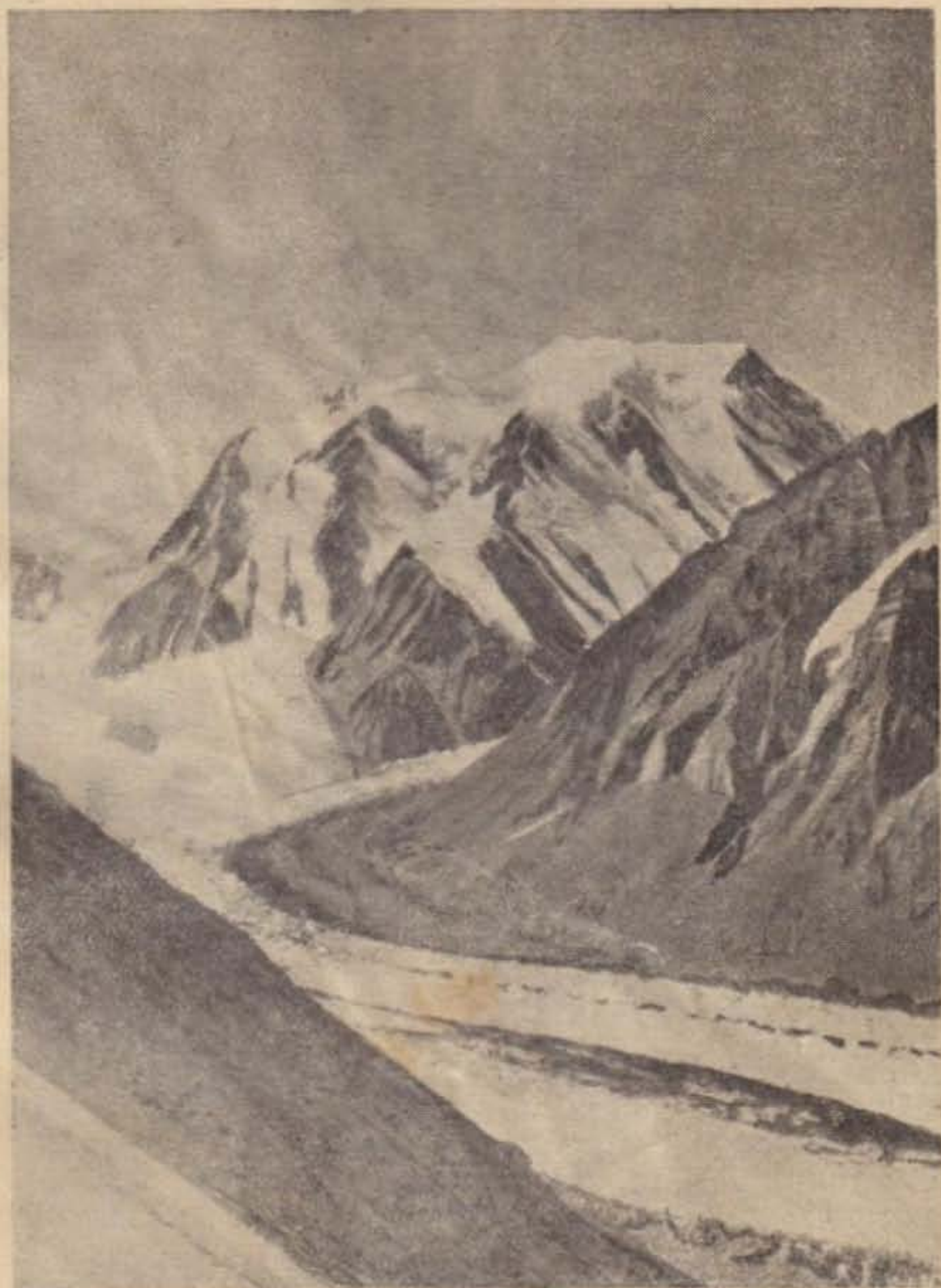


Рис. 45. Пик Сталина на Памире

пительные вершины Гималаев и западные хребты Индокитая, изогнувшиеся в виде причудливой «Сейстанской дуги», заполнили собою всю восточную часть океана Тетис. На западе последними остатками этой геосинклинали являются Средиземное, Черное и Каспийское моря. На востоке — область Зондского архипелага. В то же время воздвигались и окончательно достраивались в Восточной Тихоокеанской геосинклинали

<sup>1</sup> Памир часто называют «Крышей мира». Но слово «Памир» означает «Подножье солнца» или в несколько иной транскрипции — «Подножье смерти».



могучие хребты Кордильер и Анд с их дымящимися вулканами, горы Аляски (рис. 48), а вдоль западного побережья океана поднимались гирлянды островов — Ново-Зеландских, Зондских, Филиппинских, Японских и других, которые представляют собою вершины подводных горных цепей. Эта эпоха величайших горообразовательных движений получила название эпохи альпийской складчатости.

В то время как податливые «орогенные» области сминались в складки, в то время как в них нагромождались покровы и надвиги, области устойчивых докембрийских массивов и древней палеозойской складчатости тоже испытывали мощное давление и напор горообразовательных сил. Это давление не могло смять в складки уплотненную земную кору в пределах платформ. Оно разбило их радиальными дислокациями, особенно сильно выраженными в областях герцинской и Тяньшаньской складчатости, расположенных по окраине докембрийских континентальных щитов и принявших на себя первый напор со стороны сминающихся геосинклиналей. В это время и создались складчато-глыбовые горы на месте среднеевропейских палеозойских Альп, на месте Алтая, Тяньшаня и Куэнь-Луня. Повидимому область Тяньшаньской складчатости в Азии не была так устойчива, как герцинская горная область Европы. Поэтому вторичный горообразовательный процесс в Средней Азии дал более грандиозные результаты и более сложную перестройку древних хребтов. Урал, простираение которого перпендикулярно простираению Альпийских хребтов, не испытал столь могучего вторичного напора тектонических сил, и потому он представляет собой сейчас пониженную горную страну, совершенно не похожую на снеговые хребты Средней Азии, хотя и является их ровесником.

Не только зоны палеозойской складчатости подверглись перестройке в эпоху альпийских горообразовательных движений. Расколы, поднятия горстов и опускания грабен возобновились в древнем темени Азии. Окончательно сформировался в это время тот грабен, на дне которого находится глубочайшее озеро земного шара — Байкал.

Громадные расколы разделили на части древнейшие области кратогенных платформ. Распадение громадного массива Гондваны началось уже в мезозойскую эру. Оно окончательно завершается в третичном периоде. Опускается под уровень моря и та часть этого континента, которая связывала Африку с Южной Америкой. На месте ее возникают пучины южной части Атлантического океана.

Огромные участки кратогенного массива откалываются и погружаются в воды Индийского океана, по окраине которого как обрывки сохранились современный Индийский и Австралийский щиты и остров Мадагаскар.

Порывается вековая связь Европы и Северной Америки и к концу третичного периода возникает северная часть Атлантического океана. В это же время грандиозные расколы земной коры создают в восточной части Африки великий Эфиопский грабен. Молодые горные цепи, возникшие на месте геосинклиналей, связывают между собою разобщенные до сих пор участки континентальных массивов, принадлежащие северному и экваториальному кольцу. В одно целое соединяются Южная и Северная Америка, щит Индостана припаивается к чуждому ему Азиатскому континенту, точно так же, как и Аравия с Африкой. Ведь только искусственно, при помощи Суэцкого канала Африка отделена от Аравийской земли. К четвертичному периоду континенты приобретают свой современный облик (рис. 49).



Мы видим теперь, что горы не вечны. Мы проследили историю их возникновения и разрушения, и нам стало ясно, почему Альпы и Гималаи поднимаются за пределы облаков, почему седые развалины Урала едва заходят за границу леса, а в области Канады и Финляндии расстилаются



Рис. 46. Вершина Минъя Коппа на границе Китайского Тибета  
(бассейн реки Я-лув дзянь)

чуть всхолмленные равнины. Горы Земли имеют различный возраст. Они находятся в разных стадиях разрушения, и обычно чем они моложе, тем выше их вершины.

Мы видели, что вновь образуются и исчезают не одни только горы. Наши континенты и океаны, которые кажутся нам такими незыблемыми, основными чертами в строении Земли, также преходящи. Они рождают



ся и гибнут, как горные цепи. Австрийский геолог Эюсс образно формулировал это словами: «Окраины континентов сделались их центральными частями; там, где были центры континентальных массивов, расстилаются теперь глубины океана».



Рис. 47. Непрístupные снежные вершины на границе Китайского Тибета (бассейн реки Я-лун-дзянь)

Континенты образуются из покровно-складчатых горных систем, возникающих на месте геосинклиналей. Океанические впадины возникают благодаря грандиозным радиальным дислокациям, вызывающим расколы и оседания громадных участков континентальных массивов.



Мы видим, какую важную роль играют тектонические процессы в жизни Земли. Какие же закономерности можем мы уловить в ходе этих тектонических процессов? Что можем мы сказать на основании на-

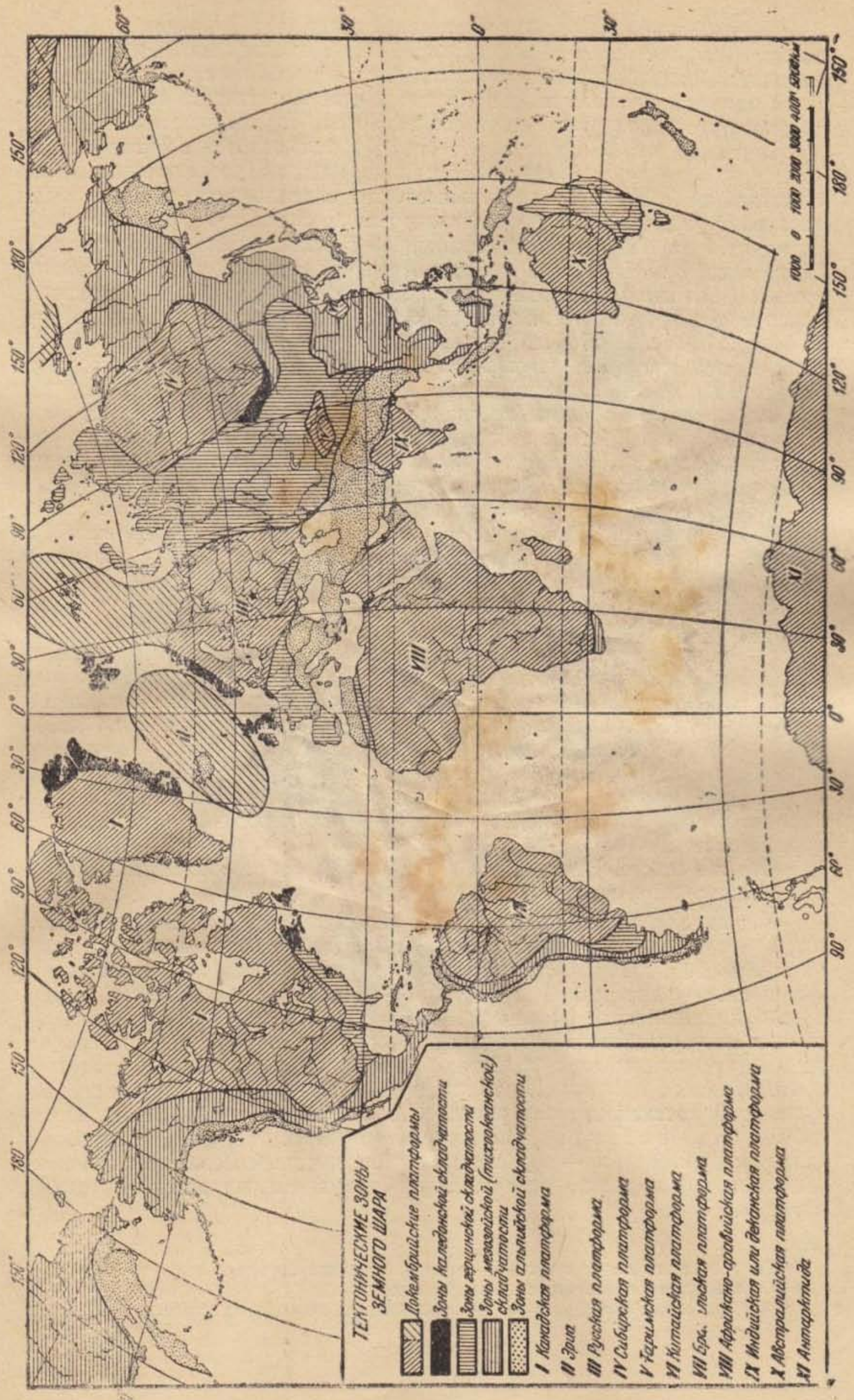


Рис. 48. Горы Аляски и Каскадульшский ледник



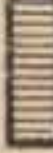


шего краткого обзора о геологической жизни отдельных горных систем и о законах, управляющих горообразованием всего земного шара?

Мы видели, что горы возникают на месте геосинклиналей. Их образованию предшествуют длительные периоды накопления осадков, или





**ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ЗОНЫ  
ЗЕМНОГО ШАРА**

-  Докембрийские платформы
-  Зоны каледонской складчатости
-  Зоны герцинской складчатости
-  Зоны мезозойской (тихоокеанской) складчатости
-  Зоны альпийской складчатости

- I** Канадская платформа
- II** Эриа
- III** Русская платформа
- IV** Сибирская платформа
- V** Фармская платформа
- VI** Китайская платформа
- VII** Бразильская платформа
- VIII** Африкано-арабическая платформа
- IX** Индийская или деканская платформа
- X** Австралийская платформа
- XI** Антарктида

Рис. 43.



литогенезиса<sup>1</sup>. Наступает момент, когда под влиянием сил, о которых мы будем говорить в следующей главе, геосинклиналь как бы сдавливается, отложившиеся в ней осадки сминаются в складки, надвигаются одни на другие в виде покровов и в конце концов на месте длительно существовавшего моря воздвигается горная система. Но мы могли видеть, что наши горные системы в большинстве случаев образовались не в один прием. Обычно в истории каждой геосинклинали можно наметить одну, две предварительные фазы складчатости, после которых наступает уже окончательное формирование складчатой, или покровно-складчатой горной цепи и превращение геосинклинали в кратогенную часть земной коры. Так, в области Альп мы находим следы движений, относящиеся к каледонской и герцинской фазе складчатости, но окончательное формирование Альпийской системы совершилось только в третичном периоде. В области Тянь-шаня происходили движения таконской, каледонской и герцинской фаз, но окончательно он сформировался только в конце пермского периода.

Поднятие гор на месте геосинклинали мы называем фазой орогенезиса<sup>2</sup>. Одновременно с поднятием и после его завершения идет разрушительная работа внешних деятелей. Это фаза глиптогенезиса<sup>3</sup>, которая приводит к уничтожению гор и созданию на месте их пенеплена.

Новый напор горообразовательных сил может вновь расчленить страну, превращенную в «почти равнину». Но на этот раз на месте ее создадутся глыбовые горы, возникновение которых связано с развитием радиальных, дизъюнктивных дислокаций.

1) Геосинклиналь, 2) первые тангенциальные дислокации «предварительных» фаз складчатости, 3) «окончательная» главная фаза, сопровождающаяся интрузиями расплавленной магмы и поднятием складчатых или покровно-складчатых гор, 4) разрушение их, 5) образование глыбовых гор или, правильнее, складчато-глыбовых гор, 6) новое разрушение — вот те основные этапы, которые отмечают геологическую жизнь гор и превращение их в платформы. И то разнообразие в геологическом строении и рельефе горных систем земного шара, которое мы видим в настоящее время, есть следствие их различного возраста. Оно указывает на разные жизненные стадии, в которых находятся те или другие горные системы.

Что же можем мы сказать об истории горообразовательных движений земного шара в целом?

Мы видели, как последовательно воздвигаются высокие горные кряжи, как с течением времени они разрушаются до основания и на месте их возникает равнина. Но на смену исчезнувшим горам поднимаются новые цепи, и с новой силой идет процесс разрушения, пока не достигнуто будет временное равновесие и не создана будет равнина. Фазы литогенезиса, орогенезиса и глиптогенезиса, характеризующие жизнь отдельных геосинклиналей, замыкаются в определенные последовательно повторяющиеся циклы. Из таких циклов созидания и разрушения, нарушения и восстановления равновесия слагается жизнь Земли. Цикличность развития, повторение сходных явлений, вызванных сходными причинами, — вот первый закон, который может быть подмечен нами при изучении истории горообразовательных движений нашей планеты.

<sup>1</sup> От греческого слова «литос» — камень, каменная порода.

<sup>2</sup> От греческого слова «орос» — возвышенность.

<sup>3</sup> От греческого слова «глуфо» — выдалбливаю, вырезаю на камне.



Но наряду с ним мы должны отметить и другой закон: закон эволюции, закон непрерывного изменения в одном определенном направлении. Благодаря этому медленному, но непрерывному процессу общего изменения Земли, ни один из последовательно повторяющихся циклов не является вполне сходным с предыдущим. Мы одинаково можем применить к истории Земли два изречения, которые кажутся на первый взгляд такими противоречивыми: мысль о том, что «ничто не ново под луной», с одной стороны, и что «история никогда не повторяется» — с другой.

В чем же заключается это общее изменение Земли? Мы видели, что в ранние периоды ее существования каменная оболочка Земли — литосфера — была податливей и эластичней, не обособились в ней кратогенные и орогенные участки и более или менее равномерно происходили по всей ее поверхности складчатые процессы. Но постепенно началось уплотнение отдельных участков, земная кора разделилась или, как говорят, дифференцировалась, на устойчивые и податливые зоны.

Дальнейшая история ее заключается в увеличении размеров кратогенных массивов, в постепенном уплотнении, которое вело к исчезновению геосинклиналей.

В связи с этим все уменьшались размеры тех областей, где могли проявляться тангенциальные дислокации, и увеличивалась роль дислокаций радиальных. В каждом новом «геологическом цикле» внутренняя связь и последовательность событий остаются теми же. Но благодаря изменившейся общей обстановке получают несколько различные результаты, как мы могли это видеть, рассматривая различные эпохи горообразования в истории Земли.

Теперь, когда мы познакомились со строением горных систем, с теми дислокациями, благодаря которым они возникают и подметили основные закономерности в истории горообразовательного движения, мы можем подойти к рассмотрению вопроса о том, каковы же те силы, которые вызывают образование гор.



*„Формой развития естествознания  
поскольку оно мыслит является гипотеза“*

Ф. Энгельс

#### ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

### Гипотезы горообразования

**П**очти все, о чем мы говорили до сих пор,—результат непосредственного наблюдения. Мы можем видеть на горных вершинах и на склонах горных долин все те разнообразные, сложные дислокации, о которых была речь. Мы можем убедиться в различном возрасте горных систем, собирая окаменелости из пород, их слагающих, и изучая несогласное напластование. В существовании геосинклиналей на месте горных цепей нас убеждает характер пород, из которых построены эти цепи. Только говоря о существовании континентальных массивов на месте Индийского и Атлантического океанов, мы сделали предположение, которое пока не может быть проверено непосредственным наблюдением. Это предположение хорошо объясняет ряд известных нам фактов, которые трудно истолковать. Некоторые из этих фактов были приведены выше. Существование «мостов суши» между Старым и Новым светом, между Индией, Австралией и Африкой допускается нами до тех пор, пока его не подтвердит или не опровергнет непосредственное всестороннее изучение дна Атлантического и Индийского океанов.

Такое теоретическое предположение, которое мы делаем для объяснения наблюдаемых фактов, носит название научной гипотезы. Гипотеза является могучим орудием в руках исследователя. Без нее наука не могла бы двигаться вперед. Если бы мы, наблюдая природу, ограничивались сбором и регистрацией фактов, наши работы представляли бы скучные, бесплодные каталоги и вряд ли могли бы влиять на развитие научной мысли и научного мирозерцания. Наблюдая явления, мы вместе с тем стремимся их объяснить, выяснить те причины, которые их вызывают, уловить законы, которым подчиняются совершающиеся в природе процессы.

Во всяком научном исследовании мы можем наметить три этапа: наблюдение, т. е. сбор фактов, объяснение наблюдаемых фактов при помощи созданной нами гипотезы и проверку справедливости этой гипотезы при помощи опыта или новых наблюдений. В некоторых науках, как например, в физике или химии, мы легко можем проверить на опыте свои гипотетические предположения. В других, как, например, в геологии поставить опыт очень трудно, и мы пользуемся, главным образом, наблюдением. Правда, геологи сумели воспроизвести в лаборатории целый ряд процессов, совершающихся в природе, и, между прочим, процессы складчатости. В этом отношении наибольшего



внимания заслуживают опыты Добрэ, А. Фавра и Б. Уиллиса. В СССР в настоящее время экспериментальным изучением дислокаций занимаются профессор Московского геолого-разведочного института В. В. Белоусов и его ученики.

Уиллис брал для опытов пакеты горизонтальных слоев глины, которые подвергал сдавливанию с боков, сжимая их до  $\frac{2}{3}$  их первоначальной длины. В серии слоев возникали при этом складки, очень сходные с рассмотренными нами складками земной коры. На этих маленьких моделях отмечались антиклинальные гребни и синклиналильные впадины, косые и опрокинутые складки. Добрэ воспроизводил складчатость на целом ряде интересных моделей. Его опыты показали, в каких условиях легче всего образуются косые, опрокинутые и лежащие складки. Он брал свинцовые пластины неравномерной толщины: одна из них была утонена на середине, другая — ближе к краю. Пластины подвергались боковому давлению, которое вызывало в них образование складок. В частях, имевших нормальную толщину, возникали прямые складки, в утоненных частях — косые, опрокинутые, а при более сильном давлении — лежащие. Опрокидывались складки преимущественно в направлении давления. Так как в природе пласты земной коры часто изменяют свой состав и мощность в горизонтальном направлении, то так же, как в опытах Добрэ, наиболее сложные опрокинутые складки будут наблюдаться в местах развития тонких, податливых и пластичных пластов. Они развиваются и там, где боковое давление встречает наибольший упор, например по окраине древних складчатых «ядер», встречающихся в геосинклиналях, переживших несколько фаз складчатости.

Модели подтверждают наше предположение о том, что складчатость может возникать в результате бокового давления. Но это только модели. Мы не можем воспроизвести в лаборатории процессов складчатости в том масштабе, в котором они совершаются в природе. Опыт в руках ученого имеет огромное значение. Это могучее орудие, при помощи которого могут быть проверены различные гипотезы и теории и ближе изучены разнообразные явления. Но для того, чтобы опыт мог выполнить свое назначение и чтобы мы могли вполне довериться его результатам, должны быть соблюдены некоторые условия. Нужно, чтобы то явление, которое мы воспроизводим на опыте, протекало перед нами по возможности в той обстановке, в которой оно протекает в природе.

Так луч солнечного или звездного света, который мы изучаем в лаборатории, ничем не отличается от того луча, который со скоростью 300 000 км в секунду несется к нам из бездны мирового пространства.

Геология в этом отношении находится в менее выгодных условиях, нежели другие естественные науки, как физика, химия или физиология. Как уже сказано, мы не можем воспроизвести на опыте геологические явления в тех размерах, в которых они происходят в природе. Мы не можем получить в лаборатории колоссальных давлений, обуславливающих образование складок в земной коре, и не имеем в своем распоряжении тех неизмеримых промежутков времени, в течение которых происходит горообразование. Поэтому-то в геологии, как уже сказано, опыт не играет той роли, которая отведена ему в других естественных науках. К познанию законов, управляющих физической жизнью Земли, мы приходим, главным образом на основании наблюдения. Изучивши одну горную систему, мы делаем предположение о том, каким образом она возникла, откуда шел напор горообразовательных сил, почему, например, все складки опрокинуты в одну сторону и в эту же сторону надвинуты покровы, почему сбросовые дислокации преобладают в определенных ме-



стах и т. д. Мы даем этим фактам известное объяснение, создаем гипотезы и с этими гипотезами в руках подходим к изучению другой горной системы. На основании своих предположений мы можем предсказывать, в какую сторону в данном случае должны быть опрокинуты складки и надвинуты покровы, где встретятся наиболее резко выраженные радиальные дислокации и т. д. Если наблюдение подтвердит наше предположение, это будет лучшим доказательством его справедливости.

Правильное предсказание фактов—пробный камень всякой гипотезы.

Поясним это на примере. Мы создали гипотезу о существовании непосредственной связи между Северной Америкой и Европой, между Южной Америкой и Африкой. Если это так, то на дне Атлантического океана, под тонким покровом молодых осадков, должны находиться погребенные материки с их рельефом, с их горами и долинами, с теми древними осадочными, континентальными и изверженными породами, которые их слагали.

В том случае, если бы мы могли тщательно исследовать рельеф дна Атлантического океана и глубоким подводным бурением установить, что подстилает толщу его современных осадков, если бы эти исследования подтвердили наши предсказания, то справедливость гипотезы о «мостах суши» была бы доказана.

Всякая гипотеза вносит порядок и определенный план в наши исследования и наблюдения. Она намечает тот путь, по которому мы должны идти, собирая фактический материал. Если новые факты опровергают наше предположение, если гипотеза оказывается ложной, это даст новый толчок нашей мысли, заставит нас искать нового объяснения и все-таки поможет продвинуться вперед, ближе подойти к истинному истолкованию явлений природы.

Гипотезы играют огромную роль в развитии науки, но надо правильно понимать их значение. Гипотеза, пока она не проверена окончательно и не стала уже вполне доказанной теорией, не представляет собою неопровержимой истины. Это только путь к достижению истины. Мы должны помнить это, приступая к рассмотрению вопроса о причинах горообразования, который находится еще в области гипотезы.

### Первые гипотезы горообразования

Вопрос о том, как создались громады горных цепей давно занимал мыслящее человечество. И в разное время, сообразно степени своих познаний, люди находили различные ответы на этот вопрос.

Естественно, что первые ученые, пробовавшие разрешить его в отдаленные времена младенческого состояния науки, искали объяснения в тех явлениях природы, которые особенно поражали их ум, которые на их глазах изменяли рельеф земной поверхности.

Корни нашей науки уходят в глубокую древность. Она зародилась на берегах Средиземного моря, в Греции, где задолго до начала нашей эры слагались основы государственной жизни с ее противоречиями и борьбою, где процветало искусство и первые философы-ученые задумывались над основными вопросами мироздания.

Но надо сказать, что корни греческой науки в свою очередь уходят в еще более глубокую древность. Мы должны их искать на востоке в произведениях древневавилонской и древнеиндусской культур.

Одни из древнейших преданий о сотворении и дальнейшем развитии мира мы находим в священной индусской книге «Законы Мену». Они заимствованы из весьма древних гимнов, называемых Ведами. Веды были собраны в одно целое около XIII столетия до нашей эры, но написаны



они еще раньше в различные предшествующие периоды. В этих гимнах рассказывается о создании мира по воле «Первой Единственной причины» и о длинном ряде периодов или Манвантаров в жизни Земли или мира. Каждый из них длился несколько тысяч веков, во время которых происходило сотворение и разрушение мира. Создавая мир «Первая Единственная причина» вначале «преднамеренно сотворила воды и плавала на поверхности их, воплотившись в образе творца Брами, который создал сушу и населил Землю растениями, животными, небесными тварями и человеком». Но в конце каждого Манвантара всемирный пожар истреблял все существующее, после чего, пробудившись от сна, Брама находил весь мир залитым водою и превращенным в океан. Снова происходило отделение суши от воды, создание живых существ, причем «Существо наивысочайшее неоднократно совершало это без всякого труда, как бы играя, и единственно ради дарования счастья».

Восточная космогония была частично воспринята египтянами и от них то греки заимствовали свои представления о сотворении мира. Они изложены в гимнах, которые приписывались мифическому фракийскому поэту Орфею, и в известном диалоге греческого философа Платона (427—348 до н. э.), учителя Аристотеля. Диалог этот назван Платоном «Тимей или об Атлантиде».

В гимнах Орфея говорится, как и в Ведах, о сотворении, разрушении и обновлении мира, причем указан определенный срок существования каждого из последовательно создававшихся миров. Повторение великих катастроф определялось продолжительностью «Великого года», которая по Орфею равна 120 000 лет, по мнению других 300 000 или 360 000 лет.

В диалоге Платона рассказывается о том, что по учению египтян род человеческий не мог долго пребывать в состоянии добродетели, покоя и счастья, что преступления, грехи и пороки людей становились в конце концов непереносимы для божества, которое уничтожало их огнем и потопами, после чего род человеческий возрождался и некоторое время находился в блаженном состоянии. Но постепенно он снова впадал в грехи и пороки.

Это учение о катастрофах, периодически уничтожавших весь мир за грехи людей, было воспринято и развито греческой философской школой стоиков. Они различали два рода губительных катастроф: к а т а к л и з м ы, или разрушение водою, и э к п и р о з и с, или разрушение огнем, расплавлявшим земной шар.

Мы встречаем рассказы о последовательных превращениях на земном шаре и в арабском учении о развитии мира, переведенном в 1685 г. королевским профессором сирийского и арабского языков в Париже Авраамом Эхеллензисом. Учение о бессмертной Вселенной, переживающей периодически катастрофы от огня и от воды, было занесено с востока не только в Египет и Грецию. Из произведений греческого географа Страбона долго жившего в Риме, мы узнаем, что друиды, жрецы древних галлов, также восприняли это учение. О всемирном потопе говорится и в библейском сказании и в сказаниях древних американских народов. Мы увидим, что пережитки этого учения удерживались в измененной форме в европейской науке вплоть до XIX века.

Что же могло послужить основанием для создания и широкого распространения в древности этих легенд? Наряду с фантазиями и поэтическими вымыслами мы можем усмотреть в них элементы наблюдений над природой. С одной стороны, в пластах земной коры запечатлены ясные следы крупных изменений, происходивших на поверхности Земли. Остат-



ки морских животных, погребенные в пластах осадочных пород, не могут остаться незамеченными и должны наводить на размышления особенно тех, кто специально посвятил себя созерцанию и изучению окружающего мира, как древние жрецы Индии и Египта. Египетские жрецы действительно знали о том, что в горах, окружающих долину Нила, встречаются морские раковины. Об этом пишет древнегреческий историк Геродот. Он делает отсюда вывод, что весь нижний Египет и даже возвышенности расположенные выше города Мемфиса были некогда покрыты морем. Подобные же выводы могли делать и восточные мудрецы и жрецы Египта и других народов. Кроме того значительная часть Азии, населенная древнейшими народами, предания которых до нас дошли, постоянно подвергалась сильным землетрясениям, следствием которых бывали иногда значительные наводнения, а также расколы земной коры и образование сбросов. Известны были древним народам и извержения вулканов. Естественно, что рассказы и воспоминания об исключительно сильных местных катастрофах этого рода могли быть овеяны поэтическим вымыслом и превратились в изустных преданиях в сказания о мировых пожарах и потопах, о страшных землетрясениях одновременно опустошивших всю Землю. То, что в сказаниях о сотворении мира есть элемент наблюдения, подтверждается местным «геологическим» колоритом некоторых из этих древних космогоний.

Ряд крупных геологов с интересом останавливался на изучении древних космогоний и на выявлении тех истинных геологических событий и тех наблюдений, которые лежат в их основе. По словам академика А. П. Павлова «В оригинальных космогониях разных народов факты действительности бывают сплетены с поэтическим вымыслом в очень причудливую ткань, или как бы навеянное действительностью сновидение».

В учениях греческих философов научный элемент, элемент наблюдения начинает постепенно преобладать над вымыслами и более конкретно ставятся вопросы о происхождении отдельных элементов и форм окружающего мира, в частности, вопрос о происхождении гор, который несколько различно разрешается разными учеными.

Каковы были те геологические явления, которые должны были особенно поражать жителей Греции? Средиземное море—область проявления вулканических сил и землетрясений. У берегов Италии, в Тирренском море, есть ряд вулканических островов — это Эоловы<sup>1</sup>, или Липарские, острова с их действующими вулканами: Стромболи, Волкано и др. в Сицилии поднимается величественный конус Этны, в Эгейском море мы находим ряд вулканических островов.

Извержения, в результате которых быстро растут конусы вулканических гор, и землетрясения, вызывающие возникновение обвалов, а иногда и сбросов, естественно должны были поражать умы ученых. Они вызывали представление о существовании подземного огня и об участии его в образовании гор. Так, греческий ученый Эмпедокл Агригентский, живший за 450 лет до нашей эры, прямо приписывал возникновение гор действию центрального огня, вызывающего землетрясения и перемещения толщ на земной поверхности. Страбон (63 г. до н. э. — 21 г. н. э.) искал причины горообразования в вулканических силах, в напоре паров и газов, выделяющихся при извержении.

Но были и другие явления, обращавшие на себя внимание жителей Греции. Эта страна сложена на большом протяжении из известняков, в которых энергично работают подземные воды. Они растворяют известняки. Благодаря этому процессу возникают обширные подземные пусто-

<sup>1</sup> Э о л — по античной мифологии бог ветра.



ты или пещеры и нередко происходят провалы потолка пещер. В результате получают впадины рельефа, большие котловины, возникновение которых нередко бывает внезапным. Естественно, что и эти явления привлекали внимание ученых. Знаменитый греческий философ и ученый Аристотель (384—322 до н. э.) прямо говорит, что горы возникают в результате грандиозных провалов в обширные подземные пустоты. Провалившиеся участки представляют собою долины и низменности, а сохранившиеся на месте — горы. Некоторые мыслители усматривали причину поднятия гор во внешних астрономических влияниях, в силе притяжения Солнца или звезд.

Теперь все эти гипотезы, опровергнутые современной наукой, имеют для нас лишь исторический интерес. Но они все же заслуживают внимания. Мы видим, что в отдаленные времена греческой культуры ученые уже понимали, что в образовании рельефа земной поверхности участвуют двоякого рода силы; одни из них связаны с внутренней энергией Земли, источником которой является «центральный огонь». Это наши эндогенные силы. Другие работают на поверхности Земли, разрушая и размывая земную кору. Это наши экзогенные силы. Которым из них принадлежит главная роль в образовании горных цепей? Вот основной вопрос, занимавший греческих ученых и долго остававшийся неразрешенным.

По существу в учении о катаклизмах и экпирозисе мы тоже видим как бы примитивное представление о проявлении работы эндогенных и экзогенных сил в преобразовании поверхности Земли, которая не остается неизменной, раз навсегда застывшей в своих первоначальных формах.

После расцвета греческой науки и искусства наступает время их гибели при нашествии «варваров», и начинается мрачная эпоха средневековья. На протяжении долгих веков господствуют религиозные догматы, считавшиеся непреложными, и преследуется всякое свободное искание научной мысли.

Явления природы объясняются самым фантастическим образом, и большая роль в этих объяснениях отводится таинственному влиянию солнца, луны и звезд. С действием звезд связывали образование различных руд и металлов, зарождавшихся в Земле от их магического света, и даже возникновение горных возвышенностей.

Забыт был пример греков, вставших на правильный путь наблюдения для объяснения явлений природы, и те фантастические теории образования Земли и происхождения гор, которые создавались в средние века, не имели под собой никакой почвы, никакого фактического основания.

Только в XV и XVI веках нашей эры, в так называемую эпоху Возрождения, ученые снова возвращаются к забытым идеям греков.

В это знаменательное время как бы вновь открывают греческую науку и греческое искусство. Поднимают из земли разбитые и погребенные «варварами» дивные статуи, прекрасные архитектурные памятники, стряхивают пыль веков с работ греческих ученых, которые еще уцелели от истребления. В это время закладываются основы нашей современной науки, и вместе с другими вопросами, волнующими ум мыслящего человека, возникает и вопрос о происхождении Земли, о причинах образования гор. Наиболее культурные страны того времени — Италия, Франция и Германия — идут впереди в этом просветительном движении. Знаменитый итальянский художник и ученый Леонардо да Винчи (1452 — 1519) осмеливается говорить о том, что на месте гор некогда было море, что окаменелости, встречающиеся в пластах земной коры, — не «игра природы», не результат магического влияния звездных излучений, а остатки животных, действительно населявших когда-то нашу Землю.



Французский горшечник, ученый-самоучка Бернард Палисси собирает эти окаменелости, описывает и сравнивает с ныне живущими и с 1575 по 1584 г. даже читает частным образом в Париже первый элементарный курс геологии. Возрождается мысль о том, что Земля изменяется, что на месте гор могли быть моря и равнины, что горы не являются первозданными чертами в строении нашей планеты, но должны были образовываться в силу какого-то процесса. И снова ищут причин горообразования, снова стремятся разрешить основной вопрос, занимавший умы греческих ученых: внутренние или внешние силы обуславливают поднятие гор? Как и во времена греческой науки, мы находим сторонников того и другого воззрения.

Учение Аристотеля о происхождении гор путем провала над подземными пустотами в несколько измененной форме было высказано известным французским философом Декартом в XVII веке и позднее немецким ученым Лейбницем (1646—1716) и французским натуралистом Бюффоном (1707—1788). Интересно, что все эти ученые допускали существование подземного огня, раскаленного внутреннего ядра Земли, но не приписывали ему никакой роли в тех процессах, которые происходят на земной поверхности. Даже вулканические извержения Бюффон объяснял подземными пожарами каменного угля и не связывал их с деятельностью внутреннего «огня», а горы, по его представлению, образовались на дне мирового океана благодаря размывающей работе течений.

Однако наиболее проникательные умы часто предвосхищают медленное развитие научной мысли и, опережая накопление фактического материала, приходят к выводам, которые будут подтверждены только работой будущих поколений. В этом отношении интересно привести взгляды на причины горообразования, высказанные нашим великим соотечественником Ломоносовым (1711—1765) в его замечательной книге «О слоях земных». Тогда как его современники не придавали никакого значения внутренней тепловой энергии Земли и приписывали причину поднятия гор работе внешних сил, Ломоносов совершенно определенно указывает на то, что горы и «самые большие возвышенности» Земли — континенты — не могут быть созданы работой воды и атмосферы, «кои с них же еще материалы сносят».

По его мнению, есть в недрах Земли «иное, неизмеримое могущество», о котором мы узнаем по вулканическим извержениям и землетрясениям. С этой внутренней силой, с этим жаром «в земной утробе» он связывает и процессы горообразования, противопоставляя работу внешних и внутренних сил, которые являются антагонистами, и правильно рисует картину геологического цикла.

Ломоносов считает, что «горы родятся двумя образами, возвышением от внутренней подземной силы и опущением верхних слоев в полости оставленные от выжженной материи». Образование гор поднятием «преимуществом на Земле» и происходит более быстро, чем опускание, почти катастрофически. При этом резко нарушается положение слоев: «наклонное положение камней диких к горизонту показывает, что они, оные слои, сворочены с прежнего своего положения, которое по механическим и гидростатическим правилам должно быть горизонтально... Итак, когда горы со дна морского восходили, понуждаемы внутреннею силой, неотменно должныствовали составляющие их камни выпучиваться, трескаться, производить расселины, наклонные положения, стремнины, пропасти разной величины и фигуры отменной». Опускание, наоборот, совершается достаточно медленно, без катастроф, хотя при этом все же могут образоваться трещины и разломы.



С нашей современной точки зрения эти представления о процессах горообразования, конечно, примитивны. Но во взглядах Ломоносова ценно то, что он противопоставляет деятельность внутренних сил работе сил внешних и правильно связывает образование гор с действием внутренних причин. Кроме того он допускает, что движения земной коры, обусловленные действием «жара в земной утробе», могут иметь следствием как поднятие, так и опускание. Это, конечно, значительный шаг вперед по сравнению с учением о том, что горы возникли от размыва морского дна сильными течениями или от провалов над пещерами.

В тех странах, где происходили вулканические извержения, на берегах того Средиземного моря, у которого зародилось представление о роли подземного огня в процессах горообразования, эти идеи должны, были, естественно, возродиться.

Вулканические процессы — единственные, при которых на глазах человека происходит образование значительных возвышенностей в самый непродолжительный срок. В XV веке, в результате трехдневного извержения в области Флегрейских полей, близ Неаполя, вырос целый вулкан в 200 метров высотой, получивший название Монте-Ново, или Новой горы. И это не единственный пример.

Такие явления должны были особенно поражать человеческий ум, и в них старались найти причину образования всех значительных горных возвышенностей. Естественно, что именно в Италии, в стране действующих вулканов, возродились идеи о значении внутренних сил в процессе горообразования. Основанная Страбоном вулканическая теория горообразования была развита еще в XVII столетии жившим в Италии датским ученым Н. Стеноном. Изучая горы Северной Италии, он заметил, что те каменные пласты, из которых сложены эти горы, имеют наклонное положение, как-будто они были приподняты какой-то внутренней силой. Эту силу Стенон усмотрел в напоре продуктов вулканических извержений: лавы, паров и газов, приподнимающих и взламывающих пласты земной коры. Его учение стало очень популярным в Италии, особенно после 1707 года, когда в группе вулканов Санторина, в Эгейском море, поднялись новые вулканические острова. Оно господствовало до 1770 г., после чего было на время забыто под влиянием новых идей, провозглашенных саксонским ученым А. Г. Вернером (1750—1817).

Вернер был талантливым педагогом, тонким знатоком руд, но узким специалистом. Он исследовал и изучил одну Саксонию и решил, что весь мир должен быть построен по ее образцу. Так как в Саксонии вулканических явлений в то время не наблюдалось и слагающие эту область породы представляли, главным образом, морские осадочные отложения, Вернер решил, что вулканизм не имеет никакого существенного значения в истории Земли и главным деятелем, работающим над ее образованием, было море.

Он предполагал, что древние, глубоко измененные кристаллические сланцы представляют собою не что иное, как первую «кору осаждения» Земли — кристаллические химические осадки, осевшие из вод первичного океана, покрывавшего вначале весь земной шар до вершин самых высоких гор. Химическими морскими осадками он считал и палеозойские органогенные известняки. Он доказывал даже осадочное происхождение базальта. Подводные извержения базальтов происходили в Саксонии в меловом периоде и Вернер утверждал, что покровы базальтов, встречающиеся среди пластов песчаника меловой системы, такой же морской осадок, постепенно переходящий в песчаную породу.



Современные же вулканические извержения Вернер считал «случайными» явлениями, обусловленными такими причинами, как самовозгорание залежей серы или каменного угля. Обладая необыкновенным красноречием, он вполне убеждал слушателей, отовсюду стекавшихся на его лекции, в правильности своих воззрений и основал многочисленную школу так называемых нептунистов<sup>1</sup>, заставившую забыть взгляды итальянских ученых на значение вулканизма. Но, несмотря на свой большой авторитет, Вернер нашел противников, которые во главе с шотландским ученым Геттоном (1726—1797) восстановили и развили вулканическую гипотезу Стенона. Геттон в своей известной «Теории Земли», вышедшей в 1785 г., высказал гораздо более правильные взгляды на развитие и строение Земли, на происхождение горных пород. Его геологические идеи во многом сходны с мыслями Ломоносова, о которых он, однако, ничего не знал, так как книга Ломоносова «О слоях земных» не была переведена на какой-либо иностранный язык. Геттон говорит о непрерывном изменении Земли благодаря работе основных геологических сил. Такими силами он считает внутренний жар Земли, влияние солнечного тепла и света, силу тяжести, электрические и магнитные силы. Поднятие континентов и горных цепей связано с воздействием внутреннего жара Земли. Им обусловлены и вулканические извержения и внедрения расплавленной магмы в земную кору. Геттон правильно представляет себе происхождение горных пород, среди которых он выделяет не только осадочные и изверженные, но и метаморфические. По существу в работе Геттона мы находим основы ряда современных геологических представлений и его «Теория Земли» создает эпоху в истории развития геологии и является крупным шагом вперед. Его ученики и последователи, отводившие должное место действию внутренних сил в развитии Земли, были названы «вулканистами» или «плутонистами», в противовес нептунистам — последователям Вернера. Долго длился ожесточенный спор между нептунистами и вулканистами, но последние, наконец, победили. На сторону их стали два талантливейших ученика Вернера — Леопольд фон Бух (1774—1853) и Александр фон Гумбольдт (1769—1859). Они отправились в дальние путешествия с надеждою доказать справедливость взглядов своего учителя и собрать ряд фактов, которые могли бы подтвердить учение нептунистов. Но когда они выехали за пределы своей родины и побывали один — в Южной Америке, другой — на Канарских островах, когда они познакомились с грандиозными действующими и потухшими вулканами этих областей, им пришлось отказаться от взглядов своего учителя.

Этот пример ясно говорит нам о том, что в геологии для общих выводов, для разрешения основных вопросов, касающихся Земли в ее прошлом и настоящем, необходимо собирать фактический материал со всего земного шара. Нельзя ограничиваться изучением какого-нибудь небольшого участка земной поверхности, как это делал Вернер. Мы видим, как разнообразно построены горные цепи различного возраста. Если бы мы стали изучать одну какую-нибудь горную систему, подобную Прибайкалью, рельеф которой в настоящее время обусловлен, главным образом, сбросами, и если бы мы думали, что все другие горы построены по ее образцу, мы пришли бы к совершенно ложному выводу, решив, что радиальные дислокации играют основную роль в строении горных кряжей, что происхождение современного горного рельефа связано исключительно со сбросами. Только после того, как мы познакомились с геологическим строением разнообразных горных систем, мы можем правильно раз-

<sup>1</sup> Нептун — по античной мифологии бог моря.



решить вопрос о том, как построены горы. Поэтому геология только в XIX веке могла стать на твердую почву и сделаться настоящей наукой, выводы которой опираются на достаточное количество фактов. Только в XIX веке, благодаря изобретению паровых двигателей, люди стали легко преодолевать огромные пространства океанов. С развитием капитализма появилась потребность в новых рынках, в захвате и освоении колоний. В связи с этим началась эпоха больших путешествий. Поэтому-то научная геология является молодой наукой, несмотря на то, что основные вопросы ее о прошлых судьбах Земли и о причинах ее современных изменений давно уже были предметом обсуждения и прений ученых и философов.

В начале XIX века, как мы говорили выше, восторжествовали идеи вулканического происхождения гор. А. фон Гумбольдт и Л. фон Бух в Германии и Эли де Бомон во Франции (1798—1874) являются наиболее яркими и талантливыми сторонниками вулканической теории горообразования.

Леопольд фон Бух развил гипотезу «кратеров поднятия», которая, несомненно, была прогрессивной по сравнению с представлениями непутистов о происхождении гор путем размыва подводными течениями и т. п. Гипотеза кратеров поднятия объясняет происхождение гор в результате напора магмы, поднимавшейся из глубин Земли к ее поверхности. Под давлением внедряющейся в толщу земной коры магмы слои осадочных пород изгибаются, образуя большие складки, а на поверхности Земли появляются как бы вздутия, представляющие собою горы. В том случае, если магма прорывается наружу, возникают вулканы, которые Л. фон Бух тоже считал вздутиями земной коры, возникшими под напором расплавленных масс. Горные хребты, длина которых измеряется многими сотнями километров, подобны вулкану с той лишь разницей, что извержение происходит не из круглого, а из трещинообразного кратера. Следами вторжений магмы, поднявших горные хребты, являются гранитные батолиты, составляющие «кристаллическое ядро» всякого горного кряжа. Современные вулканы согласно этому учению представляют собою такие же «горы поднятия», но только меньших размеров и круглых очертаний.

В этой теории правильной была та мысль, что образование гор связано с работой внутренних, эндогенных сил земного шара. Правильно и то, что в некоторых случаях образование отдельных горных возвышенностей может быть результатом внедрения магмы в толщу земной коры. Примером этого могут служить лакколиты. При образовании их осадочные породы изгибаются, образуя как бы большие куполообразные складки над внедрившейся массой (см. рис. 39). Прекрасные примеры этого мы видим в лакколитах Пятигорской группы, из которых некоторые, как гора Бештау, или гора Железная, наполовину «вышелушились» из осадочного покрова, а в других, как в горе Машук, кристаллическое ядро лакколита еще покрыто изогнувшимися пластами древних морских осадков. Но объяснение поднятия всех горных хребтов благодаря напору магмы и вулканическим извержениям не соответствовало действительности. Эта гипотеза не опиралась на достаточно точные многочисленные наблюдения, и по мере того как с развитием путешествий стали накапливаться эти наблюдения, накопились и факты, противоречащие взглядам вулканистов. В центральных частях некоторых кряжей, как, например, в Юрской цепи, не было найдено необходимого с точки зрения вулканической гипотезы кристаллического ядра из гранитов и других изверженных пород. С другой стороны, с изучением процессов метамор-



физма выяснилось, что во многих случаях это «кристаллическое ядро» состоит не столько из массивно-кристаллических, сколько из метаморфических пород. Но еще более существенное возражение вулканической теории горообразования встретилось при изучении самих вулканов.

Прежде всего оказалось, что вулканы не представляют собою «кратеров поднятия». Это горы и accumulation, сложенные из продуктов извержения: из лавы, вулканических бомб и камушков-ляпилли, из пепла, вулканического «песка» и т. д. Эти насыпные конусы ничего общего не имеют в своем строении с вершинами горных кряжей, состоящих из самых разнообразных пород земной коры, как мраморы, граниты, известняки, песчаники или различные сланцы. Французский ученый Констан Прево (1787—1856), изучивший строение древней вулканической области в Центральном массиве Франции и сделавший ряд наблюдений на вулканическом острове Юлии в Средиземном море, первый выступил в 1833 году с вескими доводами против вулканической теории горообразования. Позднее труды итальянского ученого Пулетт Скропа (1797—1876) много работавшего над изучением вулканов, взгляды Фуке и, главным образом, английского геолога Лайелля (1797—1875) окончательно подорвали эту теорию.

Лайелля считают основателем современной геологии, так как выход в свет в 1830 году его книги «Основы геологии» является началом новой эры в истории нашей науки. До Лайелля среди ученых господствовал тот взгляд, что развитие Земли происходило катастрофически, что все изменения в очертаниях материков и морей, в составе животного или растительного населения, следы которых мы можем теперь усмотреть, явились результатом грандиозных потрясений, или катаклизмов, уничтожавших на Земле все живое и сметавших все существовавшие до тех пор формы рельефа. Вулканическая теория, объяснявшая возникновение гор быстрым катастрофическим поднятием в результате грандиозных извержений, вполне согласовалась с этими взглядами, которые теперь уже отошли в область истории, и Леопольд фон Бух был одним из ярких представителей катастрофизма. Теория катастроф неизбежно должна была возникнуть в то время, когда научная мысль была еще скована безусловным признанием библейского предания о сотворении мира. В краткий срок, протекший согласно библии с первого дня творения, не могли постепенно совершаться те грандиозные изменения, о которых мы узнаем, изучая пласты земной коры. В настоящее время мы знаем, на основании неопровержимых данных, добытых путем изучения памятников, оставленных в слоях земной коры геологическими деятелями минувших эпох, что развитие Земли и эволюция органической жизни совершалась постепенно. Мы знаем, что изменения в очертаниях материков и морей являются результатом неуловимо медленного перемещения береговой линии. Мы знаем, что современные формы растительной и животной жизни путем длительного и постепенного изменения произошли от древних, вымерших форм. На основании целого ряда ископаемых остатков этой древней вымершей флоры и фауны мы можем установить ее несомненное родство с ныне живущей.

Мысль о том, что Земля в прошедшие геологические времена изменялась под влиянием работы тех же сил, которые преобразуют ее в настоящее время—не нова. Уже в древнем мире наряду с учением о катаклизмах и экпирозисе существовало представление о медленном преобразовании Земли и непрерывном изменении физико-географических условий на земной поверхности. Эта мысль ярко выражена в произведениях Аристотеля. В своем сочинении «Метеорика» он пишет: «Распределение



суши и моря в некоторых странах не всегда остается одинаковым. Часто море является там, где была суша, и снова является суша, где было море и есть повод думать, что такие изменения совершаются по известным законам и в известный период времени». И далее он ясно говорит о продолжительности этих периодов времени: «Так как время не иссякает, а Вселенная пребывает вечно, то ни Танаис, ни Нил не текли от века. Места, в которых они возникли, были некогда сухи и в будущем есть предел их течению; но для времени предела нет». Не менее ясно выражена у Аристотеля мысль о том, что изменения, происходившие в эти продолжительные периоды времени могли быть очень медленными: «Изменения Земли так медленны по сравнению с коротким периодом нашей жизни, что на них не обращают внимания, а переселения народов после великих катастроф и удаление их в другие страны заставляют забывать эти события».

О том, что Земля изменялась в прошлом под влиянием тех же процессов, которые происходят в настоящее время, очень ясно говорит Страбон: «Для нас вернее заимствовать свои объяснения из таких явлений, которые очевидны и которые случаются так сказать ежедневно, как например наводнение, землетрясение, вулканические извержения и внезапное воздымание Земли над морем».

Очень интересны мысли, которые высказывает по этому поводу М. В. Ломоносов в своей книге «О слоях земных». С одной стороны, он признает катастрофические процессы, грандиозные «трясения земли», с которыми связывает и образование гор. Но наряду с этим он говорит о существовании медленных поднятий и опусканий земной коры, которые приводят к наступанию и отступанию моря и прямо указывает на «нечувствительные, долговременные земной поверхности повышения и понижения». Перемены на поверхности Земли, связанные с действием внутренних сил «произошли на свете не за один раз, но случались в разные времена несчетным множеством крат и сейчас происходят и вряд ли когда перестанут».

Помимо внутренних сил, которым принадлежит главная роль в образовании рельефа земной поверхности, Ломоносов учитывает и роль внешних деятелей. «Внешние действия, суть сильные ветры, дожди, течения рек, волны морские, льды, пожары в лесах, потопа». Здесь перечислены все основные экзогенные деятели. Ломоносов признает что «Великие перемены причиняют на земной поверхности знатные наводнения и потопа», что «во всем свете рудокопы не перероют столько земли, не опровергнут камней во сто лет, сколько однако весной разрушают оных льды и быстрина бесчисленных вод российских». Правда, он все же несколько недооценивает значения эрозии, считая, что она не в состоянии действительно размыть и разрушить «снежным бурям и тучам смеющиеся каменные хребты и вершины».

Роль воды в изменении земной поверхности очень ярко оттенена в работе знаменитого французского зоолога-эволюциониста Ж. Б. Ламарка, озаглавленной «Гидрогеология». В этой книге ясно высказана и мысль о том, что лик Земли изменялся постепенно, в течение многих веков и тысячелетий под влиянием ныне действующих естественных сил природы. Таким образом Ламарк уже в 1802 г. совершенно определенно проводит принцип актуализма в геологии (от слова актуальный, современный), основоположником которого обычно считают Лайелля. Самая идея актуализма принадлежит, как мы могли это видеть, не Лайеллю, но Лайелль первый всесторонне развил и обосновал ее, первый совершенно ясно сказал, что прошлое Земли мы смо-



жем постигнуть только поняв ее настоящее, так как над преобразованием ее всегда работали одни и те же силы. С его точки зрения, не нужно было допускать грандиозных и катастрофических изменений и для объяснения поднятия горных кряжей. Это процесс, происходящий под влиянием могучих, но очень медленно действующих сил. Только после появления «Основ геологии» Лайелля 1830 г. принцип актуализма постепенно получил общее признание и вытеснил учение катастрофистов и только с признанием принципа актуализма сделалось возможным научное изучение прошлого Земли.

Горообразующие силы работают настолько медленно, что наблюдать этой работы мы не можем. Но тщательно изучая ее результаты, мы можем составить себе представление о характере и способе действия этих сил.

Это взгляд, которым прониклись геологи второй половины XIX века. Они вышли из области малообоснованных гипотез и рассуждений и обратились к тщательному детальному изучению строения горных кряжей, которое вскоре дало блестящие результаты. Среди ученых, особенно много сделавших в этом направлении в XIX веке на первое место надо поставить известного австрийского геолога Э. Зюсса, французских геологов М. Бертрана и Термье и швейцарского геолога А. Гейма, подробно изучивших сложное строение Альпийской цепи.

В результате этих длительных наблюдений и исследований была обоснована гипотеза сжатия, которая сыграла громадную роль в развитии нашей науки.

### Гипотеза сжатия

Во второй главе нашей книги мы познакомились с теми результатами, которые дало тщательное изучение строения гор. Мы знаем, что горы возникают благодаря дислокациям и что дислокации эти бывают двоякого рода: горизонтальные, или тангенциальные, и радиальные, или вертикальные. Тангенциальные дислокации образуются благодаря боковому давлению. Об этом достаточно убедительно говорят и наблюдения и опыт. Действительно, мы видели, что в природе косые, опрокинутые и лежащие складки встречаются гораздо чаще, чем прямые. Такие наклонные складки не могли быть образованы давлением, шедшим снизу вверх, как это предполагали вулканисты. Мы должны объяснить их происхождение неравномерным сдавливанием с боков, в горизонтальном направлении, благодаря чему складки чаще всего опрокидываются в сторону наименьшего давления. Мы видели, что опыт вполне подтверждает возможность образования складок таким путем.

Еще убедительнее говорят в пользу бокового давления шарриаж. Эти покровы, надвинутые в горизонтальном направлении, могли продвигаться таким образом только под влиянием очень сильного бокового давления, направленного в ту сторону, в которую скользил покров. Признаки сильного бокового сдавливания, которому подвергались смятые в складки пласты, находим мы и во внутреннем строении этих пластов, в явлениях динамометаморфизма.

Чем же могут быть вызваны такие давления? Что может обусловить сжатие отдельных участков земной коры, настолько сильное, чтобы привести к образованию гигантских складок, надвигов и шарриажей? Для объяснения этого явления мы можем сделать два предположения: или земная кора под влиянием каких-либо причин неравномерно увеличивается в объеме и за счет увеличения одних ее участков сдавливаются и сжимаются другие, или, наоборот, объем Земли и, следовательно, зем-



ная кора в силу каких-либо условий должны сокращаться и это сокращение происходит путем сморщивания коры благодаря образованию складок.

Первое предположение, которое делалось некоторыми учеными, на первый взгляд не имеет за собою достаточно веских доказательств. Надо, однако, указать, что некоторые из гипотез расширения заслуживают внимания. Так, например, было высказано предположение о том, что слои земной коры в области геосинклиналей должны нагреваться, а следовательно и расширяться по мере опускания вглубь под тяжестью накаплиющихся выше осадков.

Если края геосинклинали остаются при этом неподвижными, то, естественно, глубокие, увеличивающиеся в объеме пласты должны смяться в складки. Это смятие может захватить и выше лежащие пласты и вызовет в результате повышение рельефа и образование гор. Эта теория наиболее интересно и полно изложена в работах ученого Меллара Рида. О взглядах советских ученых на роль расширения в развитии Земли мы скажем дальше.

Вторая догадка как будто в большей степени оправдывается тем, что мы видим в природе.

Если бы мы могли мысленно разгладить все складки горных систем, находящихся на одном меридиане по окружности Земли, мы могли бы вычислить каковы были размеры земной окружности до образования этих складок и узнали бы на какую величину сократился объем Земли в результате их возникновения.

Такие приблизительные подсчеты были произведены для некоторых горных систем. Швейцарский геолог А. Гейм сделал такой подсчет для Альп и для Юрской цепи, сравнивая современное расстояние между Женевским озером и местечком Сен-Клод, лежащими на южной и северной окраине Юрской цепи, с тем расстоянием, которое получилось бы между этими местностями при разглаживании Юрских складок, он получил разницу в 5 200 метров. Таким образом расстояние между областью, занятой теперь Женевским озером и той местностью, где расположено местечко Сен-Клод, равное в настоящее время 16 800 метров до поднятия Юрских гор равнялось 22 000 метров.

Гейм произвел подобные вычисления и для других поперечных разрезов Юры. Во всех случаях он получил довольно близкие между собою числа — от 5 000 до 5 300 метров, выражающие так называемое абсолютное сжатие, или стяжение<sup>1</sup> этой горной области.

Для Альп им также был произведен ряд вычислений, но уже менее точных. Размеры Альпийской цепи и сложность ее строения не допускают таких правильных подсчетов, которые возможны в просто построенной Юре. Абсолютное стяжение, вызванное образованием Альпийских гор, равно, по вычислению Гейма, 120 000 метров. Если теперь земная окружность равняется 40 023 512 метрам, то до поднятия Альп она измерялась 40 143 512 метрами. Это поднятие сократило земную окружность на 0,003 процента. Когда сокращается окружность, то и радиус должен укорачиваться на соответствующую величину. Следовательно, и поперечный разрез Земли уменьшается при образовании складок.

<sup>1</sup> Относительное сжатие мы получим, если разделим число, выражающее собою расстояние между двумя местностями после образования складок на число, выражающее расстояние, бывшее между ними до образования складок.

$$\text{Для Юры относительное сжатие} \quad \frac{16000}{22000} = \frac{3}{4}$$



Если мы примем во внимание, что все другие складчатые горы, находящиеся на меридиане Альп, как например, Атлас, Апеннины, Таунус в Германии и горы Скандинавского полуострова вызвали абсолютное сжатие только вдвое больше Альп, т. е. 240 000 метров, то общее уменьшение окружности Земли по этому меридиану будет равняться 360 000 метров, что составляет почти 0,009 процента. Укорочение радиуса соответствующее этому уменьшению окружности, составит около 57 000 метров, т. е. земной радиус равный теперь 6 370 000 метров до образования складчатых гор равнялся 6 427 000 метрам.

Но по всей вероятности эта цифра еще слишком мала. Надо иметь в виду большую приблизительность и трудность подобных вычислений. Кроме того много загадок представляют в своем строении Альпы — одна из наиболее изученных горных систем, не говоря уже о других горах, несравненно менее исследованных.

Подсчет, сделанный для меридиана Альп, интересно было бы проверить вычислением абсолютного сжатия по другим меридианам. Но при нашем недостаточном знакомстве с геологическим строением разнообразных горных цепей земного шара, трудно рассчитывать на возможность подобной проверки в скором времени. Тем не менее уже приведенных вычислений достаточно, чтобы убедить нас в обоснованности предположения о сокращении объема Земли и стяжении земной коры, конечно, в том случае, если мы допустим, что и в области океанов строение земной коры сходно со строением ее в области континентов, что и там имеются складчатые структуры земной коры. Укорочение радиуса Земли на величину 57 000 метров вполне достаточно, чтобы объяснить путем сжатия поднятие самых высоких гор, известных на нашей планете, и образование самых глубоких сбросовых впадин. Даже половины этого числа вполне достаточно, так как разница между самыми высокими вершинами, поднимающимися в горных кряжах на материках, и самыми большими глубинами океанических впадин не превосходит 20 000 метров.

Стяжение земной коры и укорочение радиуса Земли вследствие общего сокращения земного шара хорошо могут объяснить нам происхождение складок и надвигов, уменьшающих земную окружность, и больших опусканий, укорачивающих земной радиус.

Но каковы же могут быть причины сокращения объема Земли?

Чтобы ответить на этот вопрос, мы должны заглянуть далеко назад, в те отдаленные времена жизни Земли, которые являются уже предметом изучения не геологии, а астрономии.

Согласно гипотезе, высказанной в XVIII веке известным немецким философом Кантом и независимо от него разработанной французским астрономом Лапласом, наша солнечная система некогда представляла собою громадную вращающуюся туманность из раскаленных паров и газов<sup>1</sup>. Постепенно, благодаря притяжению, между частицами материи,

<sup>1</sup> Теории Канта и Лапласа часто считают вполне тождественными и даже называют общим именем «теория Канта-Лапласа». Но это не совсем правильно, так как между ними есть одно существенное расхождение, касающееся вопроса о причинах, приведших во вращение первичную туманность. Лаплас не считает возможным объяснить происхождение этого вращательного движения и просто принимает его как существующее. Кант делает попытку объяснить возникновение вращения туманностей, находившейся сначала в состоянии покоя, и предполагает, что вращение постепенно возникло в покоящейся туманности благодаря притяжению между частицами. Однако это неправильно с точки зрения законов механики: система, находящаяся в равновесии, не может быть выведена из равновесия внутренними причинами. Тем не менее попытка Канта объяснить естественными материальными причинами возникновение движения космической материи имеет большое идеологическое значение.



в центральной части этой разреженной туманности произошло сгущение. Из этого сгущения и родилось главное светило нашей системы — Солнце. Постепенно от вращающейся туманности отделились кольца раскаленной материи. В них тоже происходило сгущение вещества, приводившее к образованию шаров меньших размеров, чем Солнце. Это были планеты. Они продолжали вращаться вокруг Солнца и вокруг своей оси в том же направлении, в котором происходило общее вращение первичной туманности. Одним из таких раскаленных шаров и была наша Земля. Только что отделившаяся от центральной массы туманности, она носилась в мировом пространстве в виде сверкающего, светящегося собственным светом небесного тела. Эти положения теории Лапласа легли в XIX веке в основу геологических представлений о происхождении и развитии Земли и на них опирается гипотеза сжатия.

Первый младенческий период существования нашей планеты был периодом кипучей деятельности. Могучие запасы энергии, которые Земля получила при своем рождении, искали себе выхода. Источниками этой энергии были колоссальные количества тепла, скорость вращения и химическое сродство между веществами, слагавшими Землю. Страшные взрывы газов, грандиозные извержения горячих паров потрясли раскаленную атмосферу новорожденной планеты и, подобно Солнцу, она горела ярким собственным светом.

Но постепенно ледяной холод окружающего мирового пространства стал сковывать пылающее небесное тело, щедро излучавшее в него свою теплоту. Началось медленное охлаждение Земли и, как результат этого охлаждения, на поверхности ее стала появляться первая кора, подобно шлаку всплывающему на поверхности остывающего расплавленного металла. Кора эта, как и шлак, состояла из веществ более легких, тогда как более тяжелые элементы сосредоточились во внутреннем ядре Земли.

Сначала кора охлаждения была еще тонкой. Она легко ломалась от взрывов величественных извержений, заливавших ее потоками лавы, легко проплавлялась и снова застывала. В те времена внутренние запасы энергии играли главную роль в жизни Земли. Но постепенно влияние внешнего холода, вызывавшего излучение теплоты в мировое пространство, проникало все глубже и глубже. Кора охлаждения становилась все устойчивее и толще и отделила наконец раскаленную внутренность планеты от ее атмосферы и от холодного мирового пространства. Тогда охлаждение поверхности Земли пошло еще быстрее. Стало возможным осаждение воды, носившейся дотопе в виде водяных паров в тяжелой атмосфере Земли. Сквозь густую пелену облаков, окутывавших Землю, пробился первый луч Солнца и началась работа внешних геологических деятелей, черпающих свою энергию в теплоте солнечных лучей. Работа воды и воздуха разрушала «первозданные» магматические породы. Вода переотлагала продукты их разрушения в виде пластов осадочных пород на дне рек, озер, океанов и морей, а ветры разносили их обломки в виде песка и пыли по необъятным безжизненным пустыням, расстилавшимся в те времена на Земле. Впоследствии на поверхности остывающей планеты появился новый деятель порожденный светом солнечных лучей — органическая жизнь, которая принесла свою дань в образование земной коры. Мощные толщи органогенных пород растительного и животного происхождения свидетельствуют об этом участии организмов в создании того крепкого каменного панцыря, который сковал в конце концов раскаленное внутреннее ядро Земли.

Сквозь толщу земной коры, хотя и медленно, продолжается тепло-



вое излучение горячего ядра и, оно постепенно охлаждается все более и более. На это указывает существование геотермического градиента и повышение температуры с глубиной. Там, где существует разница температур, непременно устанавливается тепловой ток в сторону более охлажденного тела, в данном случае от раскаленного ядра к охлажденной поверхности Земли и к окружающему ее мировому пространству. Законы физики учат нас тому, что большинство тел при охлаждении сжимается, уменьшаясь в объеме. Такое сжатие можно наблюдать при остывании расплавленных металлов или стекла и во многих других случаях. Подобное же сжатие должно испытывать и остывающее внутреннее ядро земного шара. Но если сжимается ядро, за ним должна следовать и кора, подчиняясь силе притяжения ядра и давлению атмосферы. Пустого, ничем не заполненного пространства не может существовать, и потому кора не может отстать от сжимающегося внутреннего ядра. Основоположники теории сжатия считали, что ядро Земли и в настоящее время представляет собою расплавленный огненно-жидкий сплав или газ.

Сокращаться при охлаждении так сильно, как сокращаются жидкость и газ, твердое тело не может. Земная кора сморщивается, сминается в складки и разбивается сбросами, по которым опускаются отдельные ее участки. Дислокации — результат охлаждения Земли, и горы свидетельствуют об этом охлаждении. Землетрясения и вулканические извержения, тесно связанные с горообразованием, тоже говорят нам об этом великом процессе охлаждения Земли. Взрывы и выбросы газов, сопровождающие вулканические извержения, — естественное следствие этого остывания.

Мы знаем уже, что непрерывное изменение земного лика происходит под влиянием двоякого рода сил: с одной стороны, сил внешних, обусловленных теплотой солнечных лучей, с другой — сил внутренних. И теперь мы можем сказать, что источником этих внутренних сил является собственная тепловая энергия земного шара.

Напряжение внутренних сил воздвигает складчатые горные цепи, вызывает образование сбросов и грабенов, заставляет Землю содрогаться в спазмах землетрясений и производит вулканические извержения, в результате которых нагромождаются высокие конусы «огнедышащих» гор. Результатом работы внутренних сил является образование неровностей на поверхности Земли.

Совсем иначе, как мы знаем, проявляется работа внешних сил. Колебания температуры, физическая и химическая деятельность атмосферы и организмов, разрушительная работа ветра, текучей воды, медленно ползущего с горных вершин льда или наступающего на континент моря одинаково уничтожают все выступы на земной поверхности и, подчиняясь силе тяжести, отлагают продукты разрушения в пониженных местах, сглаживая таким образом контрасты рельефа. В конечном итоге это должно привести к выработке однообразной равнины или пенеплена расстилающегося на поверхности всей Земли.

Мы уже говорили, что из этой борьбы внешних и внутренних сил складывается жизнь Земли. Все, что мы видим, все что мы переживаем, является только отдельным эпизодом в этой великой борьбе.

Цикличность геологических явлений, столь характерная для истории Земли, — естественный результат этой борьбы, в которой попеременно одерживают верх то внешние, то внутренние силы.

Но какой же будет конечный исход этой борьбы, к чему она приведет?

Что иссякнет скорее — внутренние запасы земной энергии или тепловая энергия Солнца?



Солнце, несомненно, представляет собою более могучий источник сил, и его запасы тепла более долговечны.

Благодаря непрерывно продолжающемуся тепловому излучению в холодное мировое пространство, также непрерывно возрастает мощность охлаждающейся и сжимающейся в складки земной коры. Количество горных цепей возникающих на земной поверхности, и размеры уплотненных, кратогенных участков земной коры будут прямо соответствовать степени охлаждения Земли.

Это постепенное охлаждение и есть причина того медленного изменения в одном направлении, той эволюции, которая была отмечена нами в тектонической жизни Земли.

Мощность земной коры возрастает, и ее способность реагировать на напор внутренних сил изменяется. И когда-нибудь завершится последний цикл в истории Земли. В последний раз поднимутся горы. Запасы внутренней энергии иссякнут, и новые возвышенности не будут уже возникать. Тогда внешние силы достигнут своей конечной цели: рельеф Земли выравняется, и поверхность ее превратится в однообразный пенеплен. Закончатся та борьба, которую начал первый луч Солнца, прорвавшийся сквозь облака, окутывавшие юную Землю.

Может, естественно, возникнуть вопрос о том, как же может наступить такое состояние равновесия, когда законы диалектики и весь научный опыт накопленный человечеством учат нас тому, что нигде в необъятной Вселенной нет равновесия и покоя? Но мы не должны забывать продолжительность геологического и астрономического времени. Не только жизнь Земли, но время существования всей нашей солнечной системы — только краткое мгновение в жизни бесконечной и вечной Вселенной. Вспомним слова Энгельса, который говорит, что относительное временное равновесие возможно в природе.

Посмотрим на нашего спутника Луну, которая представляет собою остывшее небесное тело, внутренняя энергия которого не проявляется в современную эпоху. Такое состояние возможно на известный промежуток времени. Может остыть и утратить свои колоссальные запасы энергии и центральное светило нашей планетной системы — Солнце. Нам известны такие потухшие звезды-солнца. Но это не значит, что навсегда закончилось их развитие. В сложной жизни звездных миров в одну непрерывную цепь сплетается разрушение и созидание, рождение и смерть и угасшие небесные тела могут возродиться к новой жизни. Эти вопросы рассматриваются другой наукой — астрономией. Геолог должен сосредоточить свое внимание на родной Земле. Но он не должен забывать при этом, что планета Земля в своем развитии подчиняется общим законам развития небесных тел.

Мы познакомились в самых общих чертах с основными положениями гипотезы сжатия, которая стройно связывает в одно целое весь фактический материал, рассмотренный нами выше. Она объясняет нам причину дислокаций, причину вулканических извержений, цикличность геологических процессов и постепенное изменение Земли в сторону разрастания кратогенных массивов и увеличения мощности земной коры, которая становится неспособной пластично сжиматься под напором горообразовательных сил.

В основе всех этих многообразных явлений лежит одна общая причина — охлаждение внутреннего ядра Земли и уменьшение ее объема. Какова бы ни была дальнейшая судьба гипотезы сжатия, она сыграла громадную роль в развитии нашей науки, и ее историческое значение громадно.



Впервые мысль о возможности сжатия земной коры и образования складок в результате этого процесса была высказана Эли де Бомоном, тем самым французским ученым, который являлся ярким сторонником гипотезы кратеров поднятия. Но он высказал эту плодотворную мысль вскользь и не сделал из нее тех выводов, которые напрашивались сами собою. Он не связывал со складчатостью образование гор.

Несколько позже с этой идеей выступил американский ученый Леконт. Он более полно развил ее и объяснил процессы горообразования как следствие постепенного охлаждения Земли и уменьшения ее объема. Леконт нашел ряд сторонников среди американских ученых, и первое время гипотеза сжатия называлась даже американской гипотезой. Вскоре эти плодотворные идеи захватили и умы европейских ученых. Те факты, которые получались благодаря детальному изучению горных цепей, казалось, подтверждали ее и к концу XIX века она получила почти всеобщее признание. Эта гипотеза легла в основу большой обобщающей работы о строении земного шара и истории его горных цепей, которую написал к началу XX века австрийский геолог Э. Зюсс. Он назвал свой многотомный труд «Лик Земли». И сейчас еще целый ряд крупных геологов и крупных специалистов в области тектоники стоит на точке зрения этой гипотезы.

Однако против гипотезы сжатия был сделан целый ряд возражений, и некоторые из них довольно существенны. Правда, на большинство возражений сторонниками гипотезы сжатия были даны более или менее исчерпывающие ответы. Рассматривать все возражения, сделанные против гипотезы сжатия, и все споры, которые велись по этому вопросу мы не будем. Приведем только главные из этих возражений.

Та потеря тепла, которая происходит в результате медленного излучения его в мировое пространство, недостаточна, чтобы вызвать значительное сокращение объема земного шара. Если такой процесс и происходит, на что указывает повышение температуры с глубиной, если теоретически он прекрасно объясняет нам причины дислокаций, то в действительности потеря тепла путем излучения вызывает слишком малое сжатие земного ядра, которое не может объяснить нам образования громадных складок, грандиозных сбросов и надвигов.

В сущности это не есть возражение против теории сжатия вообще. Это только возражение против того объяснения причины сжатия, которое было выдвинуто в первую очередь. В ответ на это возражение сторонники гипотезы сжатия выдвинули целый ряд других причин, которые вместе с охлаждением могут способствовать уменьшению объема внутреннего ядра Земли. Это будут, с одной стороны, вулканические процессы, в результате которых огромное количество вещества перемещается из внутренних частей Земли на ее поверхность и внедряется в земную кору в виде батолитов и лакколлитов, а с другой стороны, — громадные количества газов, паров и горячей воды, непрерывно теряющиеся внутренним ядром и выходящие на поверхность при извержениях вулканов и в виде горячих глубинных источников<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Такие источники называются девственными, или ювенильными. Выходы их встречаются в дислоцированных местностях, главным образом вдоль линий сбросов. Эти источники не представляют собою возвращающихся обратно атмосферных вод, просочившихся когда-то в земную кору, как большинство наших обычных ключей. Ювенильные воды — продукт сгущения водяных паров, которые были поглощены расплавленной массой Земли в ранние периоды ее существования и отделены от атмосферы земною корою. Благодаря тому, что поверхность Земли более охлаждена, чем горячие глубинные области, литосфера и зона магматизации, пары, заключенные в магме, стремятся к этой охлажденной поверхности.



По сделанным некоторыми учеными подсчетам, потери эти очень значительны и могут привести с течением времени к заметному уменьшению объема внутреннего ядра. Кроме того процесс остывания внутренних расплавленных масс и переход из жидкого состояния в твердое тоже должен сопровождаться уменьшением объема.

Большое значение имеет изменение скорости вращения Земли вокруг оси, которое происходит с течением времени. Это замедление вращения вызвано приливами и отливами. Явление приливов и отливов связано с притяжением Луны и суточным вращением Земли. При этом развивается трение, замедляющее скорость вращения Земли. Хотя тормозящее действие приливного трения очень незначительно, но повторяясь непрерывно на протяжении долгих веков, оно вызывает замедление скорости вращения Земли. По подсчетам известного геофизика Джорджа Дарвина продолжительность суток в прежние времена было всего  $5\frac{1}{2}$  часов.

Земля имеет форму не совсем правильного шара. Она несколько сплюснута у полюсов и является собственно не шаром, а фигурой, называемой в геометрии эллипсоидом вращения.

Все радиусы шара будут равны. Наоборот, те линии, которые мы проводим от поверхности эллипсоида вращения к его центру и которые называются радиусами-векторами, неодинаковы. Наибольшее различие будет между так называемым полярным и экваториальным радиусом (рис. 50).

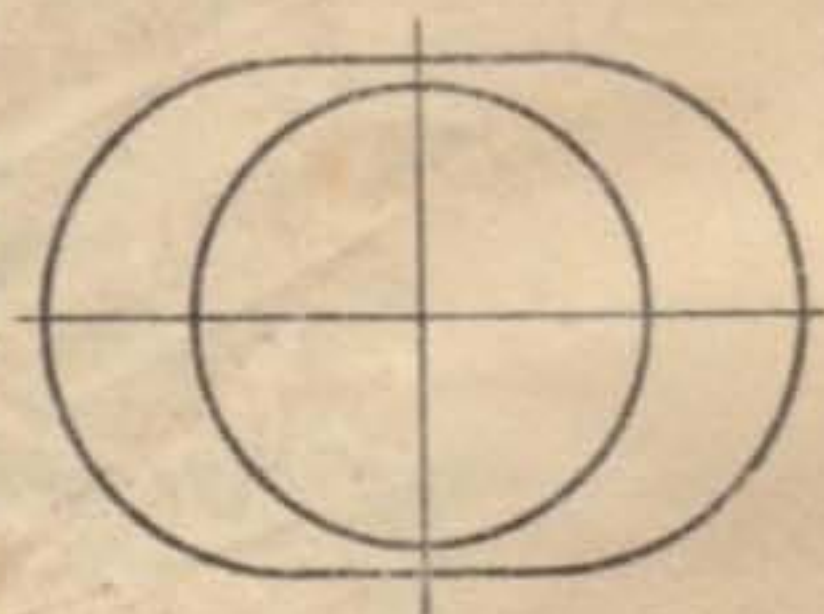


Рис. 50. Сокращение объема Земли и изменение ее фигуры

Всякий жидкий или полужидкий шар, вращающийся вокруг своей оси, принимает форму эллипсоида, тем более сплюснутую, чем быстрее происходит вращение. Когда скорость вращения Земли была больше, планета наша должна была иметь другую форму. По сделанным подсчетам, при скорости вращения в  $5\frac{1}{2}$  часов полярный радиус Земли был равен 3 736 милям, а экваториальный — 5 076 милям. В настоящее время Земля имеет почти форму шара со средним радиусом в 3 959 миль. Разница между ее полярным и экваториальным радиусом очень незначительна, и сжатие равно всего 1 : 297, иначе говоря, полярный радиус Земли короче экваториального на 2,8 мили. Из всех геометрических тел, имеющих равный объем, шар обладает наименьшей поверхностью. Следовательно, при переходе фигуры Земли от эллипсоида вращения к шару должно было произойти сокращение ее поверхности даже независимо от общего сокращения объема. Сокращение это, повидимому, было равно 210 000 милям.

Мы видим, что не только охлаждение, но и целый ряд других причин могут вызвать уменьшение объема внутреннего ядра Земли и сокращение ее поверхности. Американский ученый Ван-Хайз, сторонник гипотезы сжатия, насчитывал до девяти разнообразных причин, которыми это сжатие может быть обусловлено. И всюду, где только мы можем наблюдать земную кору, т. е. в пределах континентов, мы видим следы этого сжатия.

Тем не менее многие ученые, не удовлетворенные гипотезой сжатия стали искать иных объяснений тем горизонтальным давлениям, которые обуславливают дислокации и вызывают процессы горообразования. Им хотелось найти такое объяснение, которое помогло бы нам разрешить вопрос о причинах сжатия земной коры в области континентов не прибегая к идее общего уменьшения объема Земли.



Кроме того изучение дислокаций показало, что помимо явных следов сжатия мы встречаем в земной коре и явные следы расширения, как бы увеличения площади земной поверхности. Если при образовании складок, при образовании обращенных сбросов и надвигов явно происходит сокращение площади данного участка, то в области развития нормальных сбросов или при образовании зияющих трещин мы видим следы несомненного расширения.

Эти противоречия, обострившиеся по мере накопления нового фактического материала, привели в начале XX века к некоторому кризису гипотезы сжатия и вызвали стремление создать новую «теорию» горообразования.

Мы не будем останавливаться на всех новых гипотезах, предложенных в первое десятилетие XX века. Интересующиеся этим вопросом могут обратиться к специальным курсам и сочинениям. Мы изложим здесь вкратце только две наиболее оригинальные гипотезы эпохи «кризиса» тектонических идей и перейдем к рассмотрению современного положения теории сжатия.

### Гипотеза Вегенера о горизонтальном перемещении континентальных массивов

В основу этой гипотезы, предложенной в 1912 году немецким ученым Альфредом Вегенером (1880—1931) положено представление о том, что земная кора имеет глубоко различное строение в области континентальных массивов и в области океанических бассейнов. Нам хорошо известны породы, слагающие наши континенты. Это разнообразные осадочные метаморфические и изверженные породы. Осадочные и метаморфические породы развиты в поверхностных пластах земной коры, которая с известной глубины должна быть сложена уже сплошь из пород массивно-кристаллических. Среди этих последних мы можем различить разнообразные типы. Одни из них, как гранит, являются более легкими. Удельный вес гранита — 2,6. Он, как мы знаем, состоит из кварца, полевого шпата и слюды. Магматические породы, содержащие кварц, называются кислыми. Присутствие кварца в породах указывает на то, что в той магме, из которой они образовались, было много окиси кремния. Она пошла не только на образование различных солей кремневой или главным образом алюмокремневой кислоты, как слюды и полевые шпаты, но избыток ее мог выделиться в свободном виде, образовав кристаллы кварца. Содержание окиси кремния в кислых породах выше 65 процентов.

Есть и такие породы, которые называются основными. Содержание окиси кремния достигает в них всего 45 — 52 процентов. Ее недостаточно для того, чтобы она могла выделиться в чистом виде. Вся она идет на образование солей кремневой и частью алюмокремневой кислоты, причем получаются соли более бедные содержанием окиси кремния, по сравнению с теми, какие получались в кислых породах. Поэтому в основных породах отсутствует кварц и в состав их входят иные минералы, нежели в состав кислых. Большинство этих минералов окрашено в темные тона, что придает и всей породе темный цвет. Типичною основной породой, излившейся на поверхность, является базальт, а соответствующая ему по составу глубинная порода будет называться габбро. Основные породы тяжелее кислых. Удельный вес базальта — 3,00.

Есть также породы, называемые средними. В них содержание окиси кремния колеблется между 65 и 52 процентами и они по своему ми-



неральному составу и свойствам являются как бы промежуточными между кислыми и основными. К средним породам относятся глубинные породы: сиенит, диорит, диабаз и соответствующие им излившиеся трахит и андезит.

Существуют и такие породы, которые можно называть сверхосновными, или ультраосновными. Содержание в них окиси кремния менее 45 процентов. В них совершенно нет светлых минералов (например полевых шпатов), представляющих собою соли алюмокремневой кислоты. Эти темные тяжелые породы состоят из темных, богатых железом силикатов, т. е. солей кремневой кислоты и часто содержат в свободном виде различные тяжелые металлы, как железо и платина.

Когда застывала вращающаяся огненно-жидкая Земля, вещества, ее слагающие, должны были располагаться соразмерно своему удельному весу. Более тяжелые собирались к центру, более легкие поднимались наружу. Таким образом Земля должна состоять из более легкой «шлаковой» коры и горячего тяжелого центрального ядра. Это предположение подтверждается изучением удельного веса Земли в целом и удельного веса тех пород, которые слагают земную кору. В пределах континентальных массивов преобладают более легкие породы, и средний удельный вес земной коры равняется 2,6. Общий же удельный вес Земли, который может быть определен на основании закона тяготения, равен 5,52. Для того, чтобы общий удельный вес Земли мог быть таким высоким при наличии такой легкой коры, мы должны предположить, что в центральной части Земли сосредоточены очень тяжелые элементы. Повидимому там находятся большие скопления никелистого железа.

Повышение удельного веса магмы с глубиной подтверждается тем, что извержения, происходящие из очагов расположенных выше, дают кислые породы, а извержения идущие с больших глубин, приносят на поверхность породы основные и ультраосновные. Было высказано предположение, что железо-никелевое центральное ядро Земли покрыто оболочкой из основной магмы, которая в свою очередь охватывается оболочкой из более кислой магмы.

Этим трем оболочкам Зюсс дал особые названия. Железо-никелевое ядро он обозначает словом нифе, составленное из начальных слогов слов «никель» и «железо» (ферро) на латинском языке. Основная магматическая оболочка называется сима — от силиция (кремния) и магния, наиболее распространенных элементов, входящих в состав минералов, слагающих основные породы. И наконец наружная оболочка получила название саль или сналь — от силиция и алюминия, главных составных частей широко распространенных в ней алюмокремневых солей.

Конечно это представление несколько упрощено. Это только схема, как говорят в науке. В действительности строение Земли сложнее, и мы знаем, что благодаря вулканическим и плутоническим явлениям может происходить внедрение пород одной оболочки в другую, например, интрузии основных пород сима в зону сналь. Но в общем эта схема ясно указывает на основной закон распределения вещества в земном шаре по удельному весу.

Вегенер предположил, что оболочка из пород группы сналь не одевает в настоящее время сплошным покровом нашу Землю и что из нее сложены только континентальные массивы, а на дне океана непосредственно выступает тяжелая сима, прикрытая тонким слоем океанических осадков. Легкие материковые глыбы плавают в этой тяжелой магме наподобие ледяных гор в море.



Глубокое различие между строением континентов, представляющих собою глыбы сиаля и строением океанического дна, где непосредственно обнажается сима, является одной из основных мыслей в теории Вегенера. Подтверждение этой мысли он находит в целом ряде данных. Приведем некоторые из них.

Изучение силы земного притяжения в различных областях Земли показало, что в пределах океанов притяжение относительно больше, чем в области континентов<sup>1</sup>. Вегенер объясняет это тем, что в океане ближе к поверхности находится тяжелая вязкая сима. В области континентальных массивов, плавающих в симе или погруженных в нее, согласно его вычислениям до средней глубины 94,3 километра, эта тяжелая оболочка далеко оттеснена вниз. Поэтому здесь напряжение силы тяжести будет меньше. Мы знаем, что согласно закону тяготения притяжение тем сильнее, чем больше масса притягивающих тел<sup>2</sup>.

Вегенер находит подтверждение своему взгляду и в данных магнитных измерений, которые показывают, что дно океана, повидимому, сложено из вещества более магнитного, нежели породы, слагающие континенты. Магма базальтового типа, т. е. сима, богаче железом, нежели кислая гранитная магма, а железо, как мы знаем, обладает сильными магнитными свойствами.

Исследование землетрясений и изучение скорости распространения тех колебаний, которые они вызывают в земной коре, также указывают на то, что дно океана, по крайней мере Тихого океана по окраине Азиатского континента, сложено из иных пород, нежели те, которые слагают континентальные массивы. Волны землетрясений распространяются здесь значительно быстрее, чем по поверхности Азиатского материка и скорость их распространения соответствует той скорости, с которой должны распространяться колебания в породах типа сима.

Наконец, ровный рельеф океанического дна, отсутствие в области океанов складчатых гор кажутся Вегенеру убедительным доказательством в пользу его взгляда. Приводит он и некоторые другие, более сложные доказательства, на которых мы здесь останавливаться не будем.

Каким же образом образовались эти плавающие материковые глыбы? В начале земной истории кора сиаля одевала нашу планету равномерным тонким слоем, подобно тому, как ровная пелена льда одевает поверхность замерзшего моря. Эту первичную кору Земли покрывало сравнительно неглубокое всемирное море — Панталассиа (оно имело, по Вегенеру, около 3 километров глубины). Под легкой земной корой находилась расплавленная тяжелая магма, на которую, как и на водную оболочку Земли, Луна должна была оказывать притягивающее влияние. Благодаря силе этого притяжения в магме возникали громадные приливные течения. Они взламывали тонкую кору, разбивали ее на отдельные участки и увлекали с собою эти куски. Глыбы земной коры надвигались одни на другие, причем развивались колоссальные боковые давления. Глыбы сминались в складки, нагромождались друг на друга подобно льдинам взволнованного бушующего моря.

Площадь, занятая корою сиаля, сокращалась, но зато возрастала мощность тех глыб, на которые она распалась и которые послужили ма-

<sup>1</sup> Если мы будем изучать напряжение силы тяжести на Земле, следуя одной какой-нибудь параллели, то оно всюду окажется приблизительно одинаковым, независимо от того, будут ли встречаться на нашем пути горы, равнины, материки или моря.

<sup>2</sup> Сила притяжения двух тел будет прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.



териалом для образования континентальных массивов. Средняя мощность материковых глыб принимается Вегенером равной 100 километрам. Вычисляя среднюю глубину океанов в 5 километров (согласно современным данным 3.8), среднюю высоту материков в 700 метров, он считал, что материковый остов сиаля должен быть погружен на 94,3 километра в тяжелую магму сима.

В этой глубокой области, на границе между глыбой сиаля и магмой сима, должна господствовать высокая температура. Мы можем ее вычислить, зная величину геотермической ступени: она будет равна приблизительно  $2000^{\circ}$ . При такой температуре магма типа сима, с которой мы знакомы по извержениям базальтов и по глубинным породам габбро, должна обладать большою пластичностью и вязкостью. Она находится в состоянии, переходном между твердым и жидким. В таком же приблизительно состоянии будут находиться и породы материковой глыбы. Но мы знаем на основании лабораторных опытов, что температура плавления пород типа сиаля всегда выше температуры плавления пород основных. При температуре  $2000^{\circ}$  состояние гранитных пород будет ближе к твердому. Это делает возможным движение легких глыб сиаля в тяжелой и вязкой сима как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Только движения эти совершаются крайне медленно.

Вертикальные поднятия и опускания плавающих континентальных глыб могут происходить благодаря увеличению или уменьшению нагрузки, например, благодаря развитию или стаиванию мощного ледникового покрова, разрушению горных цепей и т. п. Такими вертикальными колебаниями Вегенер объясняет наступание и отступление эпиконтинентальных морей, неоднократно наблюдавшиеся в пределах континентальных массивов.

Горизонтальные перемещения материков совершаются преимущественно в двух направлениях. С одной стороны, мы замечаем движение с востока на запад, которое, повидимому, обусловлено глубинными приливами магмы, а с другой, — движение от полюсов к экватору, или «полюсобежное» движение.

По мнению Вегенера, первоначально вся кора сиаля была сбита в одну единую материковую глыбу. Этот первичный материк — Пангеа — постепенно распадался на части, как бы «расползлся» благодаря влиянию подкоровых приливных волн и стремлению перемещаться от полюса к экватору.

На основании этого предположения Вегенер чрезвычайно интересно и часто очень просто объясняет ряд сложных вопросов и загадок из области исторической геологии, касающихся вопросов о климате минувших эпох, о свободном расселении сухопутных животных с одного материка на другой и т. п. Рассмотрение всех его доказательств завело бы нас слишком далеко. Интересующиеся этим вопросом могут обратиться к книге Вегенера «Происхождение континентов», переведенной на русский язык. Мы же остановимся на одном из наиболее эффектных доказательств Вегенера, которое затрагивает и непосредственно интересующий нас вопрос о причинах горообразования.

Рассмотрим, как объясняет Вегенер происхождение Атлантического океана и Анд.

Мы видели, каким образом старая теория объясняла образование этого океана, возникшего благодаря провалам в области североатлантического и африкано-бразильского континентов. Непосредственная связь между Старым и Новым светом как будто неоспоримо доказывается свободным проникновением сухопутной фауны из Африки в Бра-



залию, из Европы в Северную Америку. Но вместе с тем недопустимо, по Вегенеру, предположение о том, что Атлантический океан возник на месте бывшего здесь континентального массива. Континенты и океаны представляют глубоко различные части земной коры. Как примирить эти противоречия?

Обращали ли вы когда-нибудь внимание на поразительный параллелизм восточных и западных берегов Атлантического океана? Достаточно беглого взгляда на карту, чтобы убедиться в этом (рис. 49). Там, где на востоке океан вдается в материк в виде залива, там на западе имеется соответственный выступ суши, и наоборот. Более тщательное изучение геологической карты мира убеждает нас в том, что характер берегов и их геологическое строение замечательным образом совпадают по обеим сторонам Атлантического океана. Если мы мысленно сблизим Старый и Новый свет, берега их сольются, и мы увидим, как докембрийские массивы Канадского и Балтийского щитов расположатся один подле другого, зажав между собою Гренландию. Герцинские горы Европы найдут свое продолжение в Аппалачских складках Америки, которые имеют тот же возраст. Бразилия и Африка сольются в один древний кристаллический щит; наконец, складчатые горы Южной Африки явятся прямым продолжением южноамериканских Сьерр у Буэнос-Айреса.

Может ли такое совпадение быть случайным? Вегенер не может этого допустить. По его мнению, обе материковые глыбы — Старый и Новый свет — некогда составляли одно целое. В известный момент в этой глыбе прошла громадная меридиональная трещина, вызванная, вероятно, действием глубинных приливов магмы. Единая глыба распалась на две части, и горизонтальное движение к западу отодвинуло обе Америки от Старого света на всю ширину Атлантического океана, на дне которого выступила вязкая сима. Во время движения Америки на запад происходило вторичное отделение глыб меньших размеров (Гренландия, Исландия). Расщепление началось с юга, где уже в меловом периоде произошло отделение Африки от Бразилии. Постепенно трещина разрыва врезалась все дальше и дальше к северу. Чем далее удалялась американская глыба к западу, тем большее сопротивление встречала она своему движению в вязкой магме океанического дна. В конце концов передний край этой глыбы — западное побережье обеих Америк — не в силах был преодолеть это сопротивление и стал сминаться в складки. Эти складки и дали нам снежный хребет Анд и Кордильер.

Горы являются результатом того давления, которое испытывают перемещающиеся в горизонтальном направлении материковые массы. Нам не надо делать предположения об общем сокращении объема Земли. Может быть, это сокращение и происходит, но совершенно независимо от него горы возникают благодаря горизонтальному движению континентов.

И не только складчатость, но и разрывы земной коры, те нормальные сбросы, которые как будто сопровождаются растяжением, могут быть объяснены гипотезой горизонтального перемещения. Материковые глыбы испытывают сдавливание на своем переднем крае. Наоборот, задний край их должен испытывать растяжение, как бы застревать в вязкой магме, и от него должны отрываться отдельные куски, которые остаются среди океана в виде островов, подобно Гренландии и Исландии. Таким же образом объясняет Вегенер и происхождение гирлянд островов на заднем восточном крае европейско-азиатской глыбы: это мелкие части,



оторвавшиеся от азиатского материка. Великий Эфиопский грабен представляет собою начало отщепления восточного края Африки. В области Красного моря отщепление прошло глубже, в образовавшиеся щели хлынули уже воды моря, и на дне его выступает сима. В сбросовых впадинах африканского континента трещина еще не пронизала всей материковой глыбы. В нее оседают сползающие участки земной коры сиаль, образуя ступенчатые сбросы по краям грабена, но тяжелая магма сима еще не выступила на его дне. Этим объясняется, по мнению Вегенера, некоторый недостаток в напряжении тяжести, который обнаружили измерения в области великого грабена. Земная кора сиаль здесь тоньше, чем в других местах континентальных глыб, а тяжелая магма лежит так же глубоко. Получается как бы недостаток массы.

Легко разрешает гипотеза Вегенера вопрос о постоянстве океанов и континентов, который так трудно примирить с данными о непосредственной связи между многими из наших материков.

Эта гипотеза, увлекательная по своей смелости и по той легкости, с которой она разрешает ряд очень сложных вопросов, нашла сторонников, но вместе с тем встретила и очень резкие возражения. Прежде всего трудно объяснить образование материка Пангеа в том виде, как его строит Вегенер. Мысль о первоначальном тесном соединении всех материковых глыб и дальнейшем их расползании не находит подтверждения в данных исторической геологии, хотя она и нравится многим зоологам и ботаникам.

По мнению Вегенера, Пангеа пребывала неделимой до самой мезозойской эры. Это была, так сказать, сбитая в одну кучу кора сиаль, отдельные более тонкие и легко прогибающиеся части которой — наши геосинклинали — были залиты мелким морем. На всей остальной поверхности нашей планеты выступала магма сима, покрытая водами океана. Таким образом давно уже, с начала известной нам геологической истории, обособились континенты и океан. Но какие же силы сбили в одну кучу все материковые глыбы? Об этом теория Вегенера нам ничего убедительного не говорит.

В мезозойскую эру началось расползание континентальной глыбы. Но почему же те силы, которые заставили ее разделиться на части, не действовали раньше? Подкорковые течения и вращение Земли, с которым связывается полюсобежная сила, существовали и в палеозое и до палеозоя. На этот вопрос Вегенер тоже не дает удовлетворительного ответа.

Вместе с тем с точки зрения исторической геологии очень трудно представить себе длительное существование такого единого континентального массива. Распределение климатических областей для различных геологических эпох, расселение морских животных в минувшие периоды, процессы отложения осадков в геосинклиналях и целый ряд других фактов не всегда могут быть удовлетворительно объяснены, если мы представим себе наши континенты соединенными в единую глыбу на протяжении почти всей геологической истории, как это предполагает Вегенер. Надо отметить и то, что в гипотезе Вегенера не объясняется образование геосинклиналей и вообще как бы выпадает представление об этих важнейших тектонических элементах земной коры.

Те блестящие совпадения в геологическом строении берегов Атлантического океана, которые так поражают в первый момент и как будто говорят в пользу взглядов Вегенера, частью подтверждаются, но чаще опровергаются новейшими исследованиями. Против этой части теории Вегенера сделан ряд возражений. Так, например, герцинские складки



Пиренейского полуострова не находят себе продолжения в Америке, точно так же, как и палеозойские складки северной Сахары. Сьерры Южной Америки и горы Капландии имеют, как мы знаем теперь, не одинаковый возраст. Станным кажется, почему наиболее полный параллелизм берегов сохранился в более древней, южной части Атлантического океана, а в только что расщепившейся северной части мы лишь с трудом можем соединить берега так, чтобы они совпали. Наконец, почему меньшая американская глыба так опередила в своем движении более крупную глыбу Старого света? Казалось бы наоборот, что меньшей глыбе труднее преодолевать сопротивление вязкой магмы и она должна отстать, как отстали Гренландия и Исландия. Вегенер считал, что движение материковых глыб может быть проверено на некоторых наблюдениях. Если Америка и Гренландия движутся к западу, то постепенно должна изменяться долгота различных мест на американском континенте. Вегенер приводит измерение долготы острова Сабина у берегов Гренландии, данное самим Сабиним в 1829 году. Определение долготы того же места в 1869—1870 годах германской экспедицией обнаруживает разницу, соответствующую как бы продвижению острова Сабина к западу на 2,1", а измерения датской экспедиции 1906—1908 годов дали разницу 1,4" в том же направлении. В общем, это соответствует перемещению острова Сабина и берега Гренландии на 950 метров к западу за 84 года и удалению от Европы со средней скоростью 11 метров в год. Измерения расстояния между Европой и Америкой дали менее удовлетворительные результаты. Эти измерения требуют дальнейшего повторения и проверки, так как те данные, которые получены до настоящего времени дают цифры находящиеся в пределах ошибки наблюдения.

Та ровность океанического дна, о которой говорит Вегенер и которая является с его точки зрения доказательством того, что на дне океана выступает сима и что океаническое дно не подвергается сжатию, только кажущееся явление. Оно объясняется недостаточным количеством промеров глубин, имевшихся в начале текущего столетия. Детальное изучение некоторых областей дна Атлантического океана, проведенное с тех пор, показало, что дно это далеко неровное, а проходящий в средней части этого океана возвышенный вал представляет собою, повидимому, складчатое горное сооружение. Изучение распространения волн землетрясений обнаружило присутствие коры синаль на дне Атлантического океана, правда более тонкой, чем в области материков. Это уже решительно опровергает представление Вегенера о происхождении Атлантики. Точно так же далеко неровно и дно Тихого океана. Его можно разделить как бы на две части: восточную, равнинную и западную, покрытую высокими грядками, вершины которых поднимаются над уровнем моря в виде островов. Эти грядки местами вклиниваются и в область восточных подводных равнин, разделяя их на северный, южный и собственно восточный участок. Анализируя и взвешивая все известные в настоящее время факты, касающиеся геологического строения островов Тихого океана, их расположения, вулканической деятельности, рельефа океанического дна, напряжения силы тяжести и т. д. советский академик А. Д. Архангельский приходит к тому выводу, что в области Тихого океана имеются участки земной коры, которые можно сравнивать с платформами и с геосинклиналями, на месте которых воздвигаются складчатые хребты. К платформенным участкам можно отнести восточную, северную и южную подводные равнины, а к геосинклиналям — область, занятую грядками островов. По мнению Архангельского, этому выводу не противоречат те геофизические наблюдения, которые указы-



вают на развитие тяжелых магматических пород группы сима на дне Тихого океана.

Земная кора под дном Тихого океана, несомненно, отличается по своей высокой плотности от материала, из которого состоят материки. Но это еще не значит, что кора эта не может сминаться, что в области ее развития не может быть геосинклинальных зон и складчатых горных сооружений. Только характер складчатости, структура горных хребтов будут несколько иными, чем на континенте, в связи с иным характером пород, подвергающихся смятию. Вегенер предполагал, что поверхность магматической оболочки сима, в которой плавают материковые глыбы сиаля, должна быть ровной, как поверхность воды, в которой плавают глыбы льда. Общего сокращения объема Земли не происходит. Смятие, которое мы наблюдаем в материковых глыбах — результат того сопротивления, и сдвливания, которое они испытывают при своем движении в вязкой сима, сама же область океанического дна никакому сдвливанию не подвергается. Мы видим, что эти положения не подтверждаются фактами: с одной стороны, выясняется наличие коры сиаля в области Атлантического океана, с другой стороны, и в Атлантическом и Тихом океане и в других океанических бассейнах дно далеко неровное и, повидимому, в этих областях существуют складчатые зоны, указывающие на то, что и эти части земной поверхности испытывали боковое сдвливание и сжатие.

Надо сказать, что и в самом представлении о плавании глыб сиаля в магматической зоне сима и о смятии глыб в результате сопротивления сима — коренится глубокое противоречие. Если глыбы сиаля достаточно податливы, чтобы сминаться в складки от сопротивления, которое сима оказывает их движению, они не могут в ней плавать. Если они плавают и перемещаются в разных направлениях, как это рисует Вегенер, то они должны быть жесткими и не могут сминаться.

Есть еще одна сторона теории Вегенера, которая не может удовлетворять ученого, стремящегося понять законы развития природы. Мы как раз не видим никакого развития, никакой закономерности в той истории коры сиаля, которую рисует Вегенер. Мы уже отмечали это, говоря, что нам непонятно, почему эта кора сначала сбивается в одну кучу и долго остается в таком состоянии, а затем начинает расщепляться. Каковы будут дальнейшие судьбы материковых глыб? Каково же общее направление развития, эволюции нашей планеты? Какую роль играет в ее жизни та высокая температура земных глубин, о существовании которой говорит нам геотермическая ступень? На все эти вопросы теория Вегенера не дает ответа. В своем первоначальном виде эта теория не может быть принята в настоящее время.

Но она все же сыграла положительную роль в развитии нашей науки, четко поставив вопрос о возможности горизонтального перемещения континентов, с одной стороны, а с другой, подчеркнув то влияние, которое могут оказывать глубинные движения магмы на процессы, происходящие в земной коре и, в частности, на процессы горообразования.

Идеи Вегенера нашли сторонников и противников и вызвали оживленные споры. А всякие научные споры помогают нам выявлять ошибки, отметить ложные представления, сохраняя здоровое зерно, и таким образом приближают нас к истинному познанию природы.

Интересно отметить, что мысли очень сходные с мыслями Вегенера были высказаны задолго до него в России, и притом не специалистом геологом или геофизиком, а скромным учителем, жившим в провинции.



Одновременно с Вегенером, но независимо от него идею о горизонтальном перемещении континентов развивал русский географ, профессор М. Боголепов. Интересные мысли о горизонтальном перемещении континентов высказывает в своих работах и советский геолог, профессор Б. Л. Личков. Но все же на этой основе не создано в настоящее время теории, которая охватывала бы и объясняла всю совокупность геологических процессов, происходящих на нашей планете, и общее направление ее развития.

### Гипотеза Джоли

Шотландский геолог и геофизик Джоли предложил в начале XX века для объяснения причин горообразования интересную гипотезу, в которой он выдвигает громадное значение процессов радиоактивного распада, происходящих в земной коре.

Всем пришлось слышать о невидимых лучах, испускаемых веществом радием, лучах, обладающих большой энергией и применяемых в медицине для излечения некоторых болезней, как, например, раковых опухолей. Что представляют собою эти лучи и что за вещество радий? Прежде, чем ответить на эти вопросы мы должны заглянуть в некоторые элементарные сведения из области химии.

Каменную, воздушную и водную оболочку нашей Земли слагают разнообразные вещества: газы, жидкости и различные твердые минералы. Одни из этих веществ являются простыми, как говорят химики. Они не могут быть разложены на составные части. Примером простых веществ могут служить золото, железо, газ кислород, углерод, который в чистом виде называется алмазом, и целый ряд других. Кроме простых тел, есть и тела сложного состава, получающиеся из соединения двух или нескольких простых. Так, например, вода — не что иное, как соединение простого газа кислорода с простым же газом водородом, причем соединение происходит в определенной пропорции: на две части водорода приходится одна часть кислорода. Углекислый газ представляет собою соединение углерода с кислородом, а минерал кварц — соединение вещества кремния с кислородом. Такие минералы, как полевые шпаты, имеют более сложный состав. Они, как мы видели, образуются путем соединения четырех простых веществ: кремния, кислорода, алюминия и какого-нибудь легкого металла: кальция, калия или натрия. И все эти вещества соединяются в строго определенной пропорции. Простые неразложимые вещества называются химическими элементами. В настоящее время нам известно 96 химических элементов. Из различных сочетаний этих элементов получается все разнообразие тел видимого нами мира.

Каждое вещество, простое или сложное, слагается из мельчайших невидимых частиц, которые мы называем молекулами. Молекулы в свою очередь состоят из еще более мелких частиц — атомов.

Молекулы химических элементов слагаются из нескольких атомов этого же элемента, молекулы сложных тел слагаются из атомов тех разнообразных элементов, которые входят в их состав. Например, молекула воды состоит из атома кислорода и двух атомов водорода, молекула углекислого газа — из атома углерода и двух атомов кислорода и т. д. Всегда соединяется совершенно определенное количество атомов того или другого элемента для образования молекулы сложного тела. Это и объясняет нам постоянный состав сложных тел и определенные количественные соотношения между простыми элементами, которые их слагают.



Строение молекулы сложного тела может быть выражено определенной формулой. Мы обозначаем элементы начальными буквами их латинских названий, а около этих букв ставим цифры, указывающие на то, сколько атомов данного элемента входит в состав рассматриваемой нами молекулы. Так, например, молекулу воды можно обозначить формулой  $H_2O$  (H — водород, O — кислород), молекулу углекислого газа  $CO_2$  (C — углерод), молекулу кварца  $SiO_2$  (Si — кремний), молекулу минерала кальцита, слагающего известняки,  $CaCO_3$  (Ca — кальций) молекулу розового полевого шпата ортоклаза  $K_2Al_2Si_6O_{16}$  (K — легкий металл калий, Al — алюминий).

Мы видим, что молекулы разных веществ обладают различной сложностью строения. Вода состоит всего из двух элементов, и в состав ее молекулы входят 3 атома. Полевой шпат слагается из четырех элементов, и молекула его содержит 26 атомов.

Не только сложные тела, но и простые химические элементы имеют более или менее сложно построенные молекулы. Так, частица газа водорода состоит всего из двух атомов этого элемента, тогда как молекулы других простых тел могут слагаться из большого числа атомов.

Сами атомы различных элементов резко отличаются друг от друга по своему атомному весу. Вес атома водорода принимается за единицу. Атомный вес кислорода в таком случае будет 16, атомный вес железа 55,85, атомный вес тяжелого элемента радия — 226, а еще более тяжелого урана — 238.

Учение о неразложимости химических элементов и о неделимости атомов являлось основой всей химии XIX века. В далекие времена средних веков так называемые алхимики предполагали, что такие элементы, как железо или медь можно разложить на составные части, и, наоборот, путем соединения нескольких веществ можно получить такие простые элементы, как золото и серебро. Много сил было потрачено алхимиками на попытки получения драгоценных металлов из малоценных веществ. Много опытов делалось в этом направлении и при одном из них случайно немецким алхимиком монахом Бертольдом Шварцем открыт был порох. Но создать золото или разложить его на составные части алхимикам не удалось. Идеи их были осмеяны и забыты.

В XIX веке учение о неделимости атомов и о неразложимости элементов казалось незыблемым.

Однако в 1896 году Анри Беккерелем в Париже совершено было открытие, которому суждено было перевернуть всю химию XIX века и возродить до известной степени взгляды алхимиков. Беккерель обнаружил свойство радиоактивности, которым обладает элемент уран. Прежде чем пояснить, что представляет собой радиоактивность, укажем, в каких условиях было обнаружено Беккерелем это свойство элемента урана.

В 1895 году профессор Рентген открыл знаменитые икс-лучи, которые впоследствии были названы его именем. Рентгеновские лучи получаются при прохождении сильного электрического тока через разреженное, почти безвоздушное пространство. Они невидимы для глаза, но могут действовать на фотографическую пластинку и способны проникать через предметы, непроницаемые для солнечных лучей, причем одни непрозрачные вещества пропускают эти лучи легче, чем другие. На этом основано столь важное применение рентгенографии в медицине для фотографирования костей и внутренних органов.

После открытия икс-лучей делается ряд опытов, с целью выяснить,



не могут ли быть получены аналогичные лучи какими-нибудь иными способами.

Некоторые вещества, будучи выставлены на солнечный свет, получают свойство светиться после этого в темноте. Это свойство называется **фосфоресценцией**.

Беккерель решил проверить, не проникают ли лучи, испускаемые фосфоресцирующим телом, через непрозрачные предметы подобно икс-лучам. Он взял фотографическую пластинку, обернутую черной бумагой, и положил на нее фосфоресцирующее вещество, которое было выставлено на солнце. Пластинка почернела под этим веществом, которое случайно оказалось одним из фосфоресцирующих соединений урана. Следовательно, это соединение испускало лучи, способные, подобно икс-лучам Рентгена, проникать через непрозрачные предметы. Они проходили даже сквозь тонкие пластинки металла. Беккерель решил, что это излучение связано с фосфоресценцией и возникает лишь после того, как данное вещество подвергается предварительному действию солнечных лучей.

Но однажды фотографическая пластинка и соединение урана были отложены на несколько недель в темный ящик, после чего Беккерель проявил пластинку. Оказалось, что потемнение ее произошло в темноте совершенно так же, как и на свету, или после длительного освещения соединений урана. Ряд дальнейших опытов показал, что солнечный свет и фосфоресценция не играли при этом никакой роли. Способность испускать лучи, проникающие через темные тела и действующие на фотографическую пластинку, оказалась особым свойством элемента урана. Оно присуще всем его соединениям, независимо от того, фосфоресцируют ли они или нет, находятся ли они в темноте или на свету. Наоборот, другие фосфоресцирующие тела, не содержащие в своем составе урана, не заставляли чернеть пластинки, даже будучи предварительно выставлены на солнечный свет.

Исследование лучей, испускаемых ураном, показало, что они, во-первых, действуют на фотографическую пластинку как свет или рентгеновские лучи, а во-вторых, возбуждают, подобно солнечным лучам, фосфоресценцию или флюоресценцию<sup>1</sup> в некоторых веществах, помещенных вблизи ураносодержащих тел. В-третьих, эти лучи делают воздух и другие газы проводниками электричества. Поэтому всякий наэлектризованный предмет теряет вблизи соединений урана свой заряд. В-четвертых, — и это для нас наиболее интересно, — ураносодержащие соединения производят теплоту, как производит ее уголь и всякое другое вещество при горении. Это факт поразительный и полный глубокого значения. Уран является самопроизвольным источником непрерывно испускаемой тепловой энергии, которая берется, повидимому, «из ничего». Эта теплота может выделяться год за годом без видимого ослабления, без заметного перерыва и без убыли вещества.

Четыре описанные нами свойства урана связаны со способностью выделять особые, невидимые для глаза лучи. Эта способность выделять лучи получила название **радиоактивности** (от слова «radius» луч).

Оказалось, что радиоактивность присуща не одному только урану. Знаменитые исследования супругов Кюри обнаружили сначала радиоактивность тория — элемента, имеющего важное практическое применение при изготовлении ауэровских газо-калильных сеток, в которых он является главной составной частью. Затем ими открыт был новый эле-

<sup>1</sup> Флюоресценцией называется собственное свечение тела под влиянием освещения его внешним светом, например солнечным. Но в отличие от фосфоресценции, флюоресценция продолжается только во время освещения.



мент — радий, активность которого более чем в миллион раз превышает активность урана.

Изучая радиоактивные свойства природных соединений урана, а именно смоляной урановой руды из Иохимсталльских рудников Австрии, Мария Кюри заметила, что активность этой руды в три-четыре раза больше, нежели активность чистой окиси урана. Между тем смоляная руда содержит обычно лишь 50 процентов окиси урана. Мария Кюри, естественно, пришла к тому выводу, что в смоляной руде, кроме урана, содержится еще какой-то элемент с большей радиоактивностью. В этой урановой руде имеется целый ряд элементов, которые могут быть из нее выделены обычными приемами химического разложения. Два выделенных элемента — висмут и барий — оказались особенно радиоактивными. Обыкновенные висмут и барий совершенно не радиоактивны. Их радиоактивность при выделении из урановой смоляной руды обусловлена присутствием в них ничтожного количества двух новых элементов. Один из них, сопровождающий висмут, был обнаружен Марией Кюри и назван ею полонием, по имени ее родины<sup>1</sup>. Вскоре был открыт и другой элемент — радий, связанный с барием. Радий наиболее ценен и интересен для изучения явлений радиоактивности.

Познакомимся ближе с тем, что представляет собою радиоактивность и как она объясняется в науке.

Радий и другие радиоактивные элементы испускают лучи, которые могут быть разделены на три различных типа: альфа-, бета- и гамма-лучи, сильно отличающиеся друг от друга по своей способности проникать сквозь вещество. Так, бета-лучи приблизительно в сто раз более проникательны, чем альфа-лучи, а гамма-лучи в свою очередь в сто раз более проникательны, чем бета-лучи. Поэтому альфа-лучи не играют большой роли при фотографировании: они почти нацело задерживаются очень тонкими экранами. При испытании же на электричество (при разряде наэлектризованных приборов, как, например, электроскоп) альфа-лучи оказались несравненно более сильными, чем бета- и гамма-лучи вместе взятые. На долю двух последних типов приходится только несколько процентов той общей энергии, которая выделяется радиоактивными элементами.

Бета-лучи оказываются не чем иным, как потоком электронов (частиц отрицательного электричества). Природа альфа-лучей совсем иная.

Замечательные исследования Резерфорда и остроумные опыты В. Крукса показали, что причиной альфа-излучений является выбрасывание радиоактивным телом мельчайших частиц вещества. Особый прибор, изобретенный Круксом и называемый спинтарископом, а в особенности точный электрометрический метод Резерфорда позволяют нам видеть и высчитать количество альфа-частиц, ежесекундно выбрасываемых соединениями радия. Так, например, тридцать миллиграммов бромистого радия выбрасывают каждую секунду около десяти тысяч миллионов альфа-частиц. И это выбрасывание непрерывно продолжается много столетий без всякой заметной убыли исходного вещества. 1 миллиграмм радия при нормальных условиях выбрасывает 130 миллионов альфа-частиц в секунду.

Что же представляют собою эти альфа-частицы? Откуда берется неисчерпаемый источник, непрерывно их производящий?

Исследования показали, что альфа-частицы представляют собою

<sup>1</sup> Кюри — урожденная Складовская, родом полька.



заряженные положительным электричеством и обладающие громадной скоростью атомы, точнее атомные ядра<sup>1</sup>, элемента гелия. Скорость альфа-частиц достигает более 20 000 километров в секунду. Эта скорость дает нам меру той колоссальной энергии, которой обладают альфа-частицы и которая, следовательно, непрерывно выделяется радиоактивными веществами.

Каким образом получают эти атомы гелия и откуда они берутся? Они являются результатом распада тяжелого атома радия, тория или урана. Изменения радиоактивности показывают, что атомы не вечны. Атомы радиоактивных элементов могут распадаться на составные части, причем образуются элементы с меньшим атомным весом. Следовательно химические элементы не являются простыми неизменяемыми единицами. Они могут быть разложены и составлены из других элементов так, как это представляли себе когда-то алхимики. Сложность и делимость атома<sup>2</sup> и превращение элементов — вот два чрезвычайно важных и совершенно новых понятия, внесенных в науку благодаря изучению радиоактивности.

Многочисленные исследования и опыты позволяют нам теперь восстановить картину тех процессов распада атомов и превращения элементов, которые медленно, но непрерывно происходят в земной коре.

Основными радиоактивными элементами, порождающими все остальные, являются уран и торий. Познакомимся с историей изменений урана.

Уран распадается крайне медленно, и время существования его не менее 7 500 миллионов лет. Количество урана в смоляной руде и в других урановых минералах всегда превышает содержание в них радия, а именно — на 1 часть радия имеется всегда 3 миллиона частей урана. Атомы урана постепенно и непрерывно разлагаются, выделяя одну альфа-частицу. Вес атома урана равен 238. Лишившийся альфа-частицы остаток атома урана, с атомным весом 234, представляет собой новый элемент, который мы назовем ураном-икс. Он оказывается очень недолговечным и может существовать не более 32 дней. Повторное распадение урана-икс с последовательным выделением двух альфа-частиц приводит к образованию радия, атомный вес которого 226. Радий существует около 2 500 лет. Следовательно уран, праотец радия, в 3 миллиона раз долговечнее последнего.

Это и объясняет нам, почему в природных минералах урана всегда бывает в 3 миллиона раз более, чем радия. Весь радий образовался в них за счет распада урана. А распад урана идет в 3 миллиона раз медленнее, нежели распад самого радия.

Как же распадается радий? Выделяя альфа-частицу, атомы его переходят в атомы вещества, называемого эманацией радия, атомный

---

<sup>1</sup> Атом представляет собою сложную систему. Основная часть атома—его ядро, которое всегда несет положительный заряд. В нем сосредоточена главная масса атома. Вокруг ядра с огромной быстротою вращаются несколько мельчайших и легких частиц, заряженных отрицательным электричеством. Они называются электронами. Количество электронов зависит от величины положительного заряда ядра. Атом нейтрален. Отсюда следует, что сумма отрицательных зарядов электронов должна быть равна величине положительного заряда ядра. Величина эта различна для разных химических элементов. Так, ядро атома водорода несет один положительный заряд и потому вокруг него вращается один электрон. Вокруг тяжелого ядра урана, заряд которого равен 92 единицам, вращается 92 электрона. В атомах гелия имеется 2 электрона.

<sup>2</sup> Однако атом все же заслуживает свое название, так как является наименьшей и неделимой частицей данного элемента. Когда он распадается, он переходит уже в атомы других элементов.



вес которого 222. Эманация очень недолговечна. Она быстро распадается далее, существуя всего 3—5 дней. Через ряд недолговечных промежуточных стадий эманация радия переходит в элемент полоний, атомный вес которого 210, и в конце концов, повидимому, в свинец (атомный вес 206). Вот цепь сложных превращений элементов, обусловленных распадом тяжелых атомов. Эти превращения сопровождаются непрерывным выделением колоссального количества энергии. Скорость всех альфа-частиц, выбрасываемых атомами различных промежуточных элементов, будет всегда одинаково велика. И когда останавливается полет этих частиц, задерживаемых в конце концов окружающим веществом, энергия движения переходит в тепловую. Известно, что десять миллиграммов радия дают около одной калории в час<sup>1</sup>. Источником этой могучей силы является запас энергии, заложенный в утробе атомов при их образовании. Эта внутренняя энергия атомов не дает о себе знать, пока атом цел. Так же как незаметна внутренняя энергия мины или патрона с динамитом, пока он не разорвался. Огромная устойчивость всех элементов при всевозможных условиях подтверждает тот взгляд, что они обладают весьма значительным запасом внутренней энергии, которая при обычных изменениях не освобождается и делает их нечувствительными к воздействию окружающей среды. Только при распаде атомов эта громадная внутренняя энергия освобождается и дает о себе знать.

Тепло, испускаемое, например, таким соединением, как бромистый радий, в 280 раз более, чем количество тепла, которое получилось бы при сгорании равного ему по весу количества угля. Полное количество энергии, которое выделится при окончательном разложении радия, будет приблизительно в два миллиона раз больше той энергии, которая получится при сгорании равного по весу количества каменного угля. И до сих пор самые тщательные измерения не могли обнаружить никакого изменения радиоактивности радия или урана с течением времени. Никакими средствами мы не можем остановить этот процесс выделения энергии или изменить его скорость. Он обусловлен явлениями распада атомов радия, урана и других радиоактивных элементов. Одни из них, как мы видели, распадаются медленнее, другие быстрее. Радиоактивные свойства последних для нас заметнее, но все же они так слабы, что могли быть обнаружены человеком только тогда, когда он достиг высокой степени культуры и овладел достаточно тонкими и чувствительными методами наблюдения.

Однако эти медленные, безостановочные неизменные процессы выделения энергии, происходившие на протяжении многих миллионов лет, должны были оказывать определенное влияние на физическую эволюцию небесных тел и между прочим нашей Земли. Не покрывается ли убыль тепла остывающей Земли той тепловой энергией, которая освобождается при явлениях радиоактивного распада? Не происходит ли, наоборот, накопления тепла в земной коре? Не являются ли радиоактивные процессы источником той высокой температуры, которую мы обнаруживаем в глубине Земли?

Геологи учли громадное значение этих явлений в жизни Земли. На большое геологическое значение радиоактивных процессов указывал академик В. И. Вернадский. Профессор Стретт и профессор Джоли обратились к изучению геологического строения и геологического прошлого Земли и к исследованию радиоактивности горных пород для того,

<sup>1</sup> Калория — количество тепла, необходимое, чтобы повысить температуру 1 грамма воды на 1°С.



чтобы выяснить связь между этими явлениями. В результате этих работ была создана интересная гипотеза Джоли.

Та тепловая энергия, которая освобождается при процессе радиоактивного распада, происходящего в земной коре, не может бесследно теряться, не может не оказывать влияния на жизнь нашей Земли. С этой мыслью Джоли обратился к изучению радиоактивных процессов, совершающихся в природе. Оказывается, что все горные породы, слагающие земную кору, как кислые граниты и гнейсы, так и основные базальты и габбро более или менее радиоактивны. Все они содержат хотя и очень ничтожное количество тех тяжелых элементов, которые постепенно переходят в элементы с меньшим атомным весом и выделяют при этом тепло. Атомы гелия или альфа-частицы, отделяющиеся от тяжелого элемента при его распаде, выбрасываются с громадной силой. Но рано или поздно они задерживаются окружающим веществом. И когда останавливается полет выброшенного атома, развивается тепло. Энергия движения переходит в тепловую энергию, подобно тому, как это бывает при остановке выброшенного пушкой снаряда. Благодаря этому процессы радиоактивного распада в земной коре становятся источником выделения тепла. Может ли этим путем скопиться большое количество тепловой энергии?

Главными радиоактивными элементами, порождающими все остальные, являются, как мы знаем, уран и торий. Содержание их в горных породах, слагающих земную кору, крайне ничтожно. Оно измеряется миллиардными частями грамма радиоактивного элемента на 1 грамм породы. Часто мы не можем обнаружить присутствия этих элементов путем обычных химических опытов. Но характерные радиоактивные свойства урана и тория и тех веществ, в которые они переходят благодаря радиоактивному распаду, позволяют нам довольно точно определить количество этих элементов в различных горных породах. Оказывается, что граниты и сходные с ними кислые породы гораздо богаче торием и ураном, нежели основные породы — базальт, габбро и породы ультраосновные<sup>1</sup>.

Определив содержание радиоактивных элементов в породе и зная количество тепловой энергии, освобождающееся при явлениях радиоактивного распада, можно вычислить, какое количество тепла будет выделяться ежесекундно в различных породах земной коры. Один грамм урана выделяет каждую секунду  $5,6 \times 10^{-2}$  калорий тепла, а один грамм тория —  $6,6 \times 10^{-9}$  калорий.

Зная содержание различных радиоактивных элементов в граните, мы можем вычислить, что в 1 грамме гранита каждую секунду выделяется  $16,8 \times 10^{-14}$  калорий тепла от распада урана и  $13,2 \times 10^{-14}$  калорий от распада тория. Складывая эти величины, мы получаем общее выделение тепла, равное  $13,0 \times 10^{-14}$  калорий в секунду.

Это совершенно ничтожная величина. Но когда это выделение тепла продолжается в течение многих миллионов лет, оно может привести к скоплению большого количества тепловой энергии.

Может ли долго продолжаться этот процесс? Ведь содержание урана и тория в земной коре так ничтожно. Тем не менее благодаря медленности радиоактивного распада запасов этих веществ хватит еще надолго. По подсчетам Джоли, через 5 миллиардов лет распадется только половина того урана, который содержится в настоящее время в горных породах, а половина тория израсходуется через 13 миллиардов лет.

<sup>1</sup> Гранит содержит на 1 грамм породы  $2,0 \times 10^{-5}$  граммов тория. Базальт содержит  $1,19 \times 10^{-12}$  граммов тория на грамм породы.



Продолжительность времени, протекшая с начала археозойской эры, по скромным подсчетам равна 2 000 миллионам лет, по более смелым — 2 500 миллионам.

Какую бы из этих цифр мы ни сочли более правильной, мы видим, что вся геологическая история представляет собою лишь небольшую часть того времени, которое необходимо для того, чтобы существенно изменить размеры радиоактивных процессов в земной коре.

Куда же деваются запасы тепла, накапливающиеся в земной коре? Какую роль они играют в геологических явлениях, совершающихся на земной поверхности?

Прежде чем ответить на этот вопрос, Джоли останавливается на рассмотрении некоторых характерных черт в строении земного лика и некоторых особенностей в ходе геологической истории, которые с его точки зрения заслуживают внимания и требуют объяснения.

1. Рассматривая тектоническое строение земной коры, Джоли отмечает ясно выраженные следы двойного рода сил, действовавших на нее при образовании тех или других дислокаций. С одной стороны, это силы сжимающие, которые обуславливали возникновение тангенциальных дислокаций, с другой — силы растягивающие, под влиянием которых происходили нормальные сбросы или ступенчатые грабены, подобные великому Восточноафриканскому грабену.

2. Рассматривая историю вулканических процессов, Джоли отмечает, что в некоторые периоды геологической истории на поверхность Земли изливались колоссальные количества базальтовой лавы. Никакие другие лавы не давали таких грандиозных излияний, как именно извержения основных базальтовых лав. Так, объем лав, излившихся в конце мелового или в начале третичного периода в Индии, на Деканском плоскогории, равен 250 тысячам кубических миль. В Северной Америке базальты реки Колумбии покрывают площадь в 200 тысяч или 250 тысяч квадратных миль, и объем этой массы не менее 30 тысяч кубических миль.

Можно привести еще целый ряд подобных же примеров. Эти колоссальные излияния базальтовых лав, происходившие несколько раз в течение геологической истории, начиная со времен древнейших эр, — очень характерное явление в жизни Земли.

3. Третья особенность, которую отмечает Джоли, — это географическое расположение горных цепей земного шара. В большинстве случаев они располагаются по окраине океанов и отделены от них сравнительно небольшими краевыми участками материка. Так, Анды и Кордильеры тянутся вдоль побережья Тихого океана, и краевыми землями между ними и океаном служит Калифорния.

Аппалачская горная цепь расположена вдоль Атлантического океана, Гималаи и горы Индокитая связаны с Индийским океаном и т. д.

4. Далее Джоли отмечает, что океаны и континенты являются совершенно различными элементами в строении Земли. В этом вопросе он вполне сходится с Вегенером. Континенты представляют собою глыбы более легкого вещества и сложены, главным образом, из гранитов и гнейсов (осадочные породы представляют лишь небольшой слой в их верхней части). Они погружены в слой более тяжелой магмы, которая непосредственно выступает на дне океанов. Вода океанов покоится на этой магме подобно тому, как слой масла покоился бы на поверхности воды.

Эта масса, в которой плавают материки, представляет собою основную базальтовую магму. На это указывают упомянутые выше громадные излияния базальта, происходившие всюду, где возникали трещины.



по которым магма могла подняться на поверхность Земли. По образному выражению Джоли, у нас столько же оснований думать, что континенты плавают в базальтовой магме, сколько у пассажиров корабля, во все щели которого хлынула вода, есть основания предполагать, что корабль их плавает на воде.

Кроме того вычисления силы тяжести на океанах и материках и ряд других наблюдений лучше всего согласуются, по мнению Джоли, с тем представлением, что та сима, в которую погружены континенты, является именно базальтом. Континентальные массивы — это та пена, тот более легкий шлак, который всплыл на поверхность тяжелого базальтового океана. Мощность этих глыб по подсчетам Джоли меньше, чем по подсчетам Вегенера. По данным Джоли, она равна 33 километрам. В настоящее время базальтовый слой Земли является твердым и застывшим на значительную глубину — не меньшую, чем 40 километров. Это доказывается многими фактами: существованием приливов и отливов<sup>1</sup>, характером передачи волн землетрясений и т. д.

5. Большое значение придает Джоли и самому ходу геологической истории, в котором так ярко выражена цикличность явлений. Рассматривая документы исторической геологии, мы можем видеть, как в истории Земли наступают эпохи относительного тектонического покоя, или эпохи «эволюционные». Это время разрушения горных цепей, время медленного опускания геосинклиналей и континентов, которые на обширных пространствах заливаются водами эпиконтинентальных морей. Громадные излияния базальтов знаменуют собою конец этих спокойных эпох, после которых наступают эпохи «революционные», или эпохи горообразования.

В эпохи «революций» все идет в обратном порядке. Медленно отступают эпиконтинентальные моря, осушаются геосинклинали, на месте их вырастают горные цепи, поднимающие высоко к небу глубоко метаморфизованные осадки геосинклинальных морей. Из ряда таких «эволюционных» и «революционных» циклов слагается история Земли. Мы познакомились со сменой геологических циклов в третьей главе нашей книги.

Какова же причина этих закономерно повторяющихся циклов? Какие силы управляют ходом геологической истории? Основной причиной, определяющей геологическую жизнь Земли. Джоли считает процессы радиоактивного распада, совершающиеся в земной коре. Мы знаем, что породы материковых глыб, так же как и породы базальтового слоя, содержат некоторое количество радиоактивных элементов, причем в базальте их будет меньше, чем в гранито-гнейсовых породах континентальных глыб.

Непрерывно выделяется тепло в земной коре. Благодаря тому, что в настоящее время базальтовый слой является твердым на большую глубину<sup>2</sup>, передача этого тепла к поверхности совершается очень медленно, только путем теплопроводности. Теплопроводность базальта недостаточ-

<sup>1</sup> Мы видели, что приливы возникают благодаря тому притяжению, которое Луна оказывает на водную оболочку земного шара, причем каменная оболочка Земли, твердая земная кора, остается неподвижной. Если бы под земною корою находилась жидкая расплавленная магма, то эта магма тоже притягивалась бы Луною и в ней возникли бы подкоровые приливы. Эти приливы деформировали бы земную кору, которая вздувалась бы вместе с приливною волною покрывающего ее водного и подстилающего ее магматического океана. Благодаря этому явление приливов и отливов не могло бы быть замечено на земной поверхности.

<sup>2</sup> Предельная толщина этого застывшего базальтового слоя под океанами и должна достигать, по подсчетам Коттера, 48 километров.



на для того, чтобы все выделяющееся тепло могло удаляться из породы. Теплота эта неизбежно должна накапливаться, особенно под материками, которые сами выделяют больше тепла, чем базальт, и отдают его, с одной стороны, наружу, в мировое пространство, чем объясняется, по Джоли, существование геотермического градиента, а с другой — и вглубь, менее нагретому базальту.

Что же должно произойти в результате этого медленного, но непрерывного накопления тепла? В конце концов его неизбежно накопится так много, что базальтовое дно океанов начнет расплавляться и останется только тонкая, твердая базальтовая кора в несколько километров мощностью. Должна быть известная предельная толщина этой коры. Эта толщина будет достигнута тогда, когда количество утекающей теплоты сравняется с количеством притекающей.

Когда расплавится базальтовый слой, процессы передачи радиоактивного тепла на поверхность Земли и оттуда в мировое пространство начнут происходить гораздо быстрее, благодаря возникновению течений и так называемых конвекционных токов, поднимающихся из нагретых глубин к поверхности. В это время на расплавленный базальтовый подкоровый океан будут оказывать свое притягивающее влияние Луна и Солнце, и в нем будут возникать громадные подкоровые приливы и отливы. Эти внутренние приливные волны имеют, по мнению Джоли, громадное значение. Мы видели, что под континентальными глыбами создаются условия, особенно благоприятные для скопления тепла. Если бы это скопление шло неопределенно долго, такой процесс мог бы привести к катастрофическим последствиям. Но расплавление базальтового морского дна и возникновение приливов в этой базальтовой магме устраняет катастрофу. Увлекаемые подкоровыми приливными волнами континентальные глыбы медленно смещаются по направлению к западу, и те перегретые части базальтового слоя, которые находились под ними, вступают в свободное соприкосновение с остальной частью расплавленного магматического слоя Земли и могут свободно отдать свой избыток тепла.

Однако такое состояние не может продолжаться долго. Благодаря непрерывному, быстрому излучению тепла, наступает охлаждение базальтового слоя, которое проникает все глубже и глубже, пока базальтовая кора не достигнет своей первоначальной мощности. Тогда снова начнется процесс накопления тепла до тех пор, пока вновь не расплавится базальтовая кора. И так до бесконечности будут повторяться периоды расплавления и застывания базальтового дна океанов, замыкаясь в длинную цепь последовательных циклов, пока не иссякнут запасы радиоактивных элементов земной коры.

Как же должны влиять эти процессы на геологическую жизнь континентов и океанов?

Мы говорили, что континенты плавают в базальтовой магме, подчиняясь обычным законам плавающего тела. Следуя этому закону, установленному Архимедом, плавающее тело должно быть погружено в жидкость настолько, чтобы вес вытесненной жидкости был равен весу плавающего тела. Естественно, что чем плотнее жидкость, тем менее глубоко погружается в нее плавающее тело и наоборот.

Базальт при застывании уплотняется на 12 процентов. Следовательно, когда он расплавляется, он становится менее плотным, и материки должны глубже погрузиться в него, чтобы сохранить равновесие. Время расплавления базальтового дна океанов соответствует тем периодам истории Земли, в которые происходит опускание континентальных мас-



сивов относительно уровня моря, прогибание дна геосинклиналей и скопление в них мощных серий осадков. Вместе с тем, благодаря тому, что, уменьшаясь в плотности, расплавленный базальт увеличивается в объеме, ему становится тесно под тонкою, сохранившеюся на дне океанов корою. Он стремится растянуть, разорвать и эту кору и континентальные глыбы и вылиться наружу. Отсюда те грандиозные излияния основных лав, которые периодически наблюдаются в истории Земли, отсюда те следы растяжения, которые мы видим во многих сбросах и грабенах.

Наоборот, когда застывает базальтовое дно океанов и становится более плотным тот слой, в который погружены материки, эти материковые глыбы должны всплыть, подняться наверх, и вместе с тем должны схлынуть покрывающие их моря. Растянутая в предшествующую эпоху базальтовая кора на дне океанов становится слишком просторной для уплотняющего и сжимающего глубинного слоя. Она сдавливается, изгибаясь в пологие волнообразные складки, и напирает особенно сильно на край континентальных массивов. Это значительное боковое давление и объясняет нам сложные дислокации в области геосинклиналей, податливых областей материковой глыбы, заполненных осадочными породами и располагающихся по окраине континентов.

Дно геосинклиналей сминается в складки, одни участки дна нажимаются на другие, образуя шарриажи. Эти дислокации, сопровождающиеся часто внедрением гранитной магмы, увеличивают мощность дна геосинклиналей и превращают его в могучую глыбу легких пород, которая должна всплыть, подняться вверх, подчиняясь закону равновесия плавающего тела.

Этому вертикальному поднятию всего смятого дна геосинклиналей в целом Джоли придает большое значение. Он считает, что тектоническое строение гор, их дислокации обусловлены боковым давлением, а поднятие горной цепи, возникновение ее рельефа является, главным образом, результатом общего вертикального поднятия всего смятого участка. Происходит это поднятие благодаря законам равновесия плавающего тела, каким и является вместе со всей континентальной глыбой тот участок ее, который мы называем геосинклиналью.

Таким образом цикличность в истории Земли объясняется циклами накопления и отдачи радиоактивного тепла в земной коре. Эпоха остывания базальтовой постели материков и следующего за нею накопления тепла — это время революций, время тангенциальных дислокаций, свидетельствующих о развитии сдавливающих сил в земной коре, это эпоха отступления морей, исчезновения геосинклиналей и поднятия на месте их горных кряжей.

Время расплавления базальтовой постели и быстрой отдачи тепла в мировое пространство знаменуется трансгрессиями моря, возобновлением геосинклиналей, в которые сносятся продукты разрушения горных цепей, поднявшихся в предшествующую эпоху. Геосинклиналей не случайно располагаются по окраине материков. Именно эти окраины прежде всего подвергаются растягивающим и сдавливающим влияниям со стороны океанического базальтового дна. В периоды сдавливания геосинклиналей выжимаются, в периоды растяжения они возникают вновь иногда на том же самом месте. Так объясняет Джоли то, что процесс образования горной цепи совершается в несколько приемов (наши «предварительные» движения).

Мы видим, что по идее Джоли не должно быть в истории Земли непрерывной односторонней эволюции, ведущей к одному определенному концу. По крайней мере нет ее с его точки зрения на протяжении всей



известной нам геологической истории. Конец этот наступит тогда, когда распадутся все радиоактивные элементы Земли. А это настолько далекое время, что говорить о нем не приходится.

По теории сжатия, Земля неуклонно движется к старости, и эта старость наступит тогда, когда иссякнет весь запас первичной тепловой энергии земного шара.

Джоли думает, что радиоактивные вещества представляют собою неисчерпаемый источник энергии и выделяемое при радиоактивном распаде тепло играет главную роль в истории и жизни нашей планеты. Его теория говорит нам, что Земля обладает вечной юностью, способностью вечного возрождения. Как сменяются времена года, так сменяются в истории Земли эпохи революций и эволюций. Начало расплавления базальтовой постели, с которым волны моря проникают в пределы материка и начинают отлагать материалы для новых горных цепей, знаменует собою вечно возвращающуюся весну земного шара.

В гипотезе Джоли оригинальной и заслуживающей внимания является мысль о значении процессов радиоактивного распада в тепловом режиме Земли и о возможной смене периодов охлаждения и нагревания земной коры в истории нашей планеты. Это объясняет одновременно существующие в земной коре признаки сжатия и расширения. Сжатие наступает при временном охлаждении Земли и является главной причиной возникновения складчатых гор на месте геосинклиналей. Расширение наступает при нагревании и расплавлении базальтовой постели.

Помимо этого Джоли высказывает ряд идей, заимствованных из других гипотез, и притом не совсем удачных. Так же примитивно, как и в гипотезе Вегенера, материковые глыбы представляются плавающими в базальтовой постели, также допускается горизонтальное движение этих глыб, увлекаемых течениями магмы. С точки зрения законов физики трудно себе представить, чтобы сравнительно тонкая базальтовая кора океанического дна могла играть основную роль в смятии краевых частей континентальных глыб. Слишком упрощено представление о сложных процессах складчатости, грубо механистически представляется погружение и поднятие материков. Кроме того, для диалектически мыслящего ученого гипотеза Джоли, как и гипотеза Вегенера, неприемлема в том виде, в каком она дана ее творцом, также и потому, что в ней нет идеи развития, эволюции Земли. «Циклы» в истории Земли представляются как циклы «замкнутые», в которых без существенных изменений повторяются одни и те же явления. Между тем, мы могли видеть из нашего обзора горообразовательных движений земного шара, что это не так. Действительно можно отметить некоторую цикличность геологических процессов: чередование эпох интенсивного горообразования и эпох относительного тектонического покоя. Но каждая горообразовательная фаза оставляет свой след, изменяет структуру тех или других геосинклинальных зон, изменяет рельеф земной поверхности, границы суши и моря, площадь платформ. И потому каждый последующий цикл протекает в иной обстановке, чем предыдущий и приводит к несколько иным конкретным результатам. Земная кора в целом непрерывно изменяется. В результате общую картину альпийской складчатости, протекавшей в условиях существования обширных платформенных массивов и сравнительно немногочисленных сохранившихся геосинклинальных зон, вряд ли можно считать повторением тектонических процессов, вполне сходных с теми, которые преобразовывали юный «клик Земли» в начале археозоя. Гипотеза Джоли в ее первоначальной форме не может нас удовлетворить.



## Гипотеза М. А. Усова

Из трех гипотез, которые мы рассмотрели, только гипотеза сжатия, основывающаяся на представлении о непрерывном охлаждении Земли, излучающей свое тепло в мировое пространство, развернула перед нами картину эволюции, развития Земли в определенном направлении и позволила наиболее стройно увязать между собою известные нам факты истории Земли. Но то представление о причинах и механизме смятия земной коры в результате сокращения объема ее ядра, которое рисовали основоположники этой гипотезы, тоже было упрощенным и механистическим, что и привело к кризису гипотезы сжатия в конце XIX века. С тех пор прошло почти столетие. Были выдвинуты многочисленные новые гипотезы, но ни одна из них не сыграла той роли, которую сыграла в XIX веке гипотеза сжатия. После временного успеха большинство новых гипотез сошло со сцены. Между тем геологи накапливали новый и новый фактический материал. За последнюю четверть века особенно большую роль сыграли в этом отношении советские геологи, о чем нам уже пришлось говорить. Именно на фактическом материале, собранном при геологическом картировании и изучении СССР и обобщенном В. А. Обручевым, А. Д. Архангельским, Н. С. Шатским и другими советскими специалистами, мог быть установлен ряд закономерностей в развитии геосинклиналей и платформ. В частности, А. Д. Архангельским была выявлена сопряженность эпейрогенических колебаний этих областей. В обзоре горообразовательных движений земного шара мы могли отметить, что поднятию гор в области геосинклиналей соответствует и поднятие платформ над уровнем моря и наоборот, при погружении геосинклиналей происходит погружение платформ. В настоящее время изучены строение и история многих горных областей Сибири, которые были почти неисследованы 20 или 30 лет тому назад. Выявлены соотношения между складчатостью и процессами внедрения магмы и рудообразования.

Большой интерес представляет и продвинувшееся вперед изучение дна океанов, которое позволяет думать, что и там имеются складчатые области. Это должна учитывать теперь всякая новая гипотеза горообразования.

Помимо накопления нового фактического материала, которое позволяет по-новому подойти к разрешению некоторых вопросов тектоники, мы должны отметить и развитие в СССР диалектико-материалистического метода, который является могучим орудием движения науки вперед. И в прошлом науку двигали работы лишь тех ученых, которые были «стихийными диалектиками». Они интуитивно понимали, что история нашей Земли, как и история всей Вселенной, представляет собой вечное движение, изменение, развитие в каком-то определенном направлении, что в этом развитии наблюдается борьба противоположных сил, ведущая в конце концов к одной цели, что в различных этапах борьбы и развития сменяются явления, из которых последующее как бы отрицает предыдущее. Самое развитие происходит не только медленным эволюционным путем: на фоне непрерывного развития наблюдаются как бы «скачки», моменты, в течение которых происходят резкие качественные изменения в природе.

Мы формулируем теперь эти положения, как три основных закона диалектики: 1) закон развития, 2) закон единства и борьбы противоположностей и 3) закон отрицания отрицания. В «Жизни гор» ясно проявляются эти три закона. Мы видели, что на Земле непрерывно происходит



образование, разрушение и преобразование горных систем и что эти процессы обусловлены борьбой противоположных эндогенных и экзогенных сил. При этом в истории горообразовательных движений земного шара как бы чередуются эпохи относительного покоя и эпохи напряженного проявления тектонических сил.

Вместе с тем в том цикле геологических явлений, которые сменяются в истории гор, ясно проявляется закон отрицания отрицания. Длительно существует прогибающаяся геосинклинальная впадина. Под влиянием эндогенных сил на месте ее возникают горы, которые в геотектоническом отношении являются как бы противоположностью, или «отрицанием» этой геосинклинальной впадины. Под влиянием экзогенных сил горы разрушаются и как формы рельефа переходят в свою противоположность, или свое отрицание — почти равнину, или пенеплен. При повторном напоре эндогенных сил могут снова возникнуть горы — отрицание равнины. В конце концов, как мы знаем, на месте геосинклинальных зон возникают платформы — полное отрицание геосинклиналей. Материалы, сносимые с гор и преобразованные действием внешних сил, превращаются в осадочные породы, как бы отрицание тех глубинных, кристаллических пород, из которых они произошли, а процессы метаморфизма в свою очередь могут превратить осадочные породы в кристаллические сланцы, резко от них отличающиеся по минеральному составу.

Эти законы диалектики проявляются не только в развитии земной коры, но в жизни и развитии всего земного шара в целом и всех других небесных тел. Каждая гипотеза горообразования должна учитывать их. Кроме того, пытаясь объяснить происхождение гор и развитие земной коры, мы не должны отрывать этого процесса от развития Земли как планеты, как небесного тела. Земля, несомненно, подчиняется общим законам развития всех небесных тел, которые мы можем познать, изучая процессы происходящие в звездах и в центральном светиле нашей системы — Солнце.

В развитии звезд мы видим проявление двух противоположных сил — притяжения и отталкивания. Притяжение обусловлено силами тяготения и оно приводит к постепенному сжатию, сгущению и уплотнению звезд. Отталкивание проявляется в виде излучения световой и тепловой энергии и истечения материи из раскаленных звезд.

Советские ученые подошли к вопросу о причинах горообразования, учитывая развитие Земли как космического тела и опираясь на законы диалектики.

Своеобразная гипотеза была предложена профессором М. М. Тетяевым. Он считает, что в течение звездной стадии существования Земли притяжение было сильнее, чем отталкивание. Излучавшаяся в пространстве тепловая и световая энергия и выбрасывавшиеся из раскаленной планеты частицы терялись для Земли и не играли роли в ее развитии. До образования земной коры ведущая роль принадлежала силам тяготения, притяжению, под влиянием которого и формировался земной шар. После образования земной коры условия изменились. Кора отделила звездное вещество, находящееся внутри Земли, от мирового пространства и затруднила выход энергии отталкивания, которая стала накапливаться внутри Земли под покровом земной коры. По мнению Тетяева, эта энергия приводит к разуплотнению вещества, к частичному переходу его в жидкое состояние с повышением температуры и расширением. В результате под земной корой образуются отдельные очаги расплавленной магмы, которая начинает подниматься вверх и стремится прорвать панцирь земной коры. Магматические процессы — проявление расширения



внутреннего ядра. Только ядро является в настоящее время активным, «саморазвивающимся», а земная кора лишь пассивно деформируется под действием ядра. С момента образования коры ведущим процессом в развитии Земли является не сжатие, а расширение.

Исходя из этих основных положений М. М. Тетяев развивает свою гипотезу горообразования, пытаясь объяснить и складчатость, и образование шаррижей независимо от сокращения объема Земли и вообще независимо от бокового давления. С этой гипотезой довольно трудно согласовать известные нам факты структуры и истории земной коры, а механизм образования складок так, как его рисует Тетяев, встречает много возражений. Желающие могут познакомиться с этой гипотезой в книгах М. М. Тетяева «Основы геотектоники» и «Геотектоника СССР», а в популярной форме в книге В. А. Варсанофьевой «Происхождение и строение Земли».

Мы изложим сейчас кратко гипотезу другого советского ученого, академика М. А. Усова, которая в некоторых отношениях напоминает концепцию Тетяева, но в основных выводах существенно от нее отличается. Взгляды Усова сложились на основании непосредственного изучения большого фактического материала — истории горообразовательных движений и вулканических процессов Западносибирского края. Учтены, конечно, и все известные данные о горообразовательных движениях всего земного шара.

Усов, как и Тетяев, считает, что Земля развивается под действием противоположных сил: отталкивания и притяжения. Притяжение стремится уплотнить земную материю, обуславливая сжатие планеты. Вместе с тем сжатие и уплотнение порождают противоположную силу — энергию отталкивания. Она проявляется в недрах Земли в форме расширения объема материи. Но в противоположность Тетяеву, Усов считает, что ведущую роль в развитии Земли играет сжатие, а не отталкивание и расширение. В звездную стадию своей жизни Земля свободно отдавала в мировое пространство тепловую и световую энергию и часть своего вещества. После образования коры охлаждения процесс этот усложнился, борьба притяжения и отталкивания обострилась, отталкивание приняло новую форму и перешло в расширение вещества, замкнутого каменной оболочкой Земли. Но этот процесс не стал ведущим в дальнейшем развитии нашей планеты. Весь фактический материал по изучению складчатых структур и надвигов, беспристрастный анализ геологического строения континентов, новейшие данные по рельефу океанического дна, насколько мы можем их истолковать в геотектоническом отношении, согласно говорят о том, что сжатие сохранило ведущую роль в истории земного шара. С этим вполне можно согласиться.

Усов считает, что сжатие происходит не непрерывно, вернее не однообразным темпом. Что в этом процессе наблюдаются как бы «скачки» — более резкие сокращения объема. Фазы складчатости, которые отмечаются в истории Земли — не что иное, как конкретное, навсегда запечатлевшееся в строении нашей планеты выражение таких скачков.

При продолжающемся сжатии Земли энергия расширения постепенно накапливается в ее недрах и, достигнув определенного предела, тоже может дать «скачок». Этот скачок конкретно выражается в виде вулканических процессов, пробивающих земную кору, способствующих улету чиванию накопившейся энергии в мировое пространство. Таким образом складкообразование связано со сжатием, вулканизм — с расширением. Обычно после резко выраженной фазы сжатия наступает более или ме-



нее резко выраженное расширение, сопровождающееся вулканическими процессами и образованием дислокаций.

Главной, основной формой тектонических процессов Усов считает складчатость. Она обусловлена сжатием, а сжатие «ведущий» процесс в противоречивом развитии Земли. Вулканизм и радиальные дислокации — наоборот — выражение лишь временной победы расширения.

Усов считает, что в эпохи относительного тектонического покоя на Земле происходят только количественные изменения, например, накопление мощных толщ осадков в геосинклиналях, отложение морских слоев на платформах. В «революционные», горообразовательные эпохи, наоборот, совершаются глубокие резкие качественные изменения в структуре земной коры.

Мы знаем, что действительно в это время геосинклинали превращаются в «жесткие» платформенные участки, пенепленизированные пространства древних горных цепей могут быть превращены в глыбовые горы и т. д. Говоря словами самого Усова «периодический характер тектонической жизни Земли есть факт, не подлежащий сомнению, и тектоническое развитие Земли может быть охарактеризовано как «непрерывно-прерывистый» процесс».

Усов считает, что во время горообразовательных фаз складчатость проявляется всюду, но в зависимости от строения земной коры формы складчатости будут различны в тех или других участках. В мощных осадочных толщах геосинклиналей возникают резко выраженные и сложные складки, в области платформы пологие валообразные вздутия и широкие прогибы. Между этими крайними типами существует ряд промежуточных форм. Даже на дне водных бассейнов, в толщах продолжающих накапливаться осадков, может происходить образование складок в «революционные», горообразовательные фазы.

Напряженность и сила различных горообразовательных фаз различна. Усов выделяет большое количество слабых фаз складчатости, объединяющихся в более крупные циклы, которые в общем соответствуют выделенным нами крупным горообразовательным эпохам: каледонской, герцинской и т. д.

Борьба сжатия и расширения никогда не прекращается. Она происходит и во время самих горообразовательных фаз и в спокойные «межфазовые» эпохи развития Земли. В эпохи складчатости борьба эта особенно интенсивна и в те моменты, когда сжатие и связанные с ним процессы складчатости ослабевают, расширение проявляется в форме интрузий — внедрения расплавленных масс, ищущих выхода на поверхность.

Таким образом хотя интрузии как будто приурочены к горообразовательным фазам в области геосинклиналей и связаны со складчатостью, они возникают независимо от нее, в результате самостоятельного процесса — вулканизма, проявляющегося именно тогда, когда складчатость ослабевает.

В спокойные «межфазовые» эпохи, когда сжатие ослаблено, временная победа расширения выражается более ярко в виде мощных эффузивных вулканических процессов.

Такова в общих чертах гипотеза Усова. Мы видим в ней возрождение теории сжатия на новой теоретической основе и в свете нового фактического материала.

Ряд положений гипотезы Усова требует дополнительной проверки и может оспариваться. Так, например, далеко не доказано, что все выделенные им фазы складчатости были универсальными и охватывали



весь земной шар. Полная самостоятельность интрузивных вулканических процессов и независимость их от складчатости должна быть еще доказана. Но мысль Усова о борьбе противоположных сил сжатия и расширения и о ведущей роли сжатия в развитии Земли безусловно плодотворна. Очень важно и выделение фаз горообразования вообще, особенно если их можно будет увязать с абсолютными вычислениями геологического времени на основе радиоактивного метода. Можно сказать, что выявление горообразовательных фаз и циклов в отдельных областях земного шара и увязка всех этих данных является одной из важнейших очередных задач нашей науки. И в этом отношении большое значение будет иметь работа советских геологов, в связи с большими размерами и разнообразием геологического строения нашей страны.

Идеи Усова поддерживаются рядом советских геологов, в частности академиком В. А. Обручевым. Мысль о том, что не сказано еще последнее слово гипотезы сжатия высказывается и другими нашими тектонистами, например профессором Н. С. Шатским. Находит она и противников в лице профессоров М. М. Тетяева и В. В. Белоусова, который, как и Тетяев, стремится доказать образование тангенциальных дислокаций независимо от сжатия, путем сдавливания в вертикальном направлении. Отдавая должное исторической роли гипотезы сжатия, Белоусов считает, что она не может объяснять всех особенностей структуры земной коры.

Но мы должны сказать, что все известные нам факты и в настоящее время не противоречат идее о ведущей роли сжатия в истории Земли. Мы видим, что гипотеза сжатия сама эволюционирует и облекается в новые формы по мере развития наших фактических знаний и эволюции наших теоретических воззрений, но здоровое зерно ее остается. Из этого зерна может быть вырастет в конце концов та теория, которая всесторонне охватит все явления в жизни гор и, основываясь на законах диалектики, объяснит причины сложного тектонического развития Земли.

---

Мы рассмотрели несколько гипотез, различным образом объясняющих причины возникновения гор и невольно возникает вопрос: где же истина? Можно ли признать одну из этих гипотез безусловно правильной? Сейчас мы еще не можем ответить на этот вопрос. У нас не хватает фактов и наблюдений для полной проверки существующих гипотез горообразования. Это дело будущего. Мы видели, что ключ к разрешению многих загадок лежит на дне океана. Если бы нам удалось детально изучить рельеф океанического дна и его геологическое строение, мы могли бы совершенно точно сказать, кто прав: Вегенер и Джоли, говорящие, что материи — только отдельные, легкие глыбы, плавающие в слое тяжелой магмы, сторонники «мостов суши», предполагающие, что всю Землю охватывает сплошной панцырь легкой коры сials и что океаны только области глубокого оседания этой коры или те геологи, которые, как Архангельский, учитывают различия в строении континентальных глыб и дна океанов, но считают возможным смятие дна и возникновение на нем складчатых гор. Мы могли бы проверить, существуют ли на дне океана тангенциальные дислокации и окончательно решить вопрос о том, происходило ли общее сокращение объема земного шара или в силу различных причин сдавливались и сминались только его материковые глыбы.

Быть может, когда-нибудь наука и техника настолько усовершенствуются, что подобные исследования будут возможны. Сейчас мы только начинаем проникать в тайны, которые ревниво хранят океаны.



Конечно многие вопросы, поставленные гипотезами горообразования, можно будет проверить и при изучении одних континентов. Из нашего краткого очерка мы могли видеть, что геологам удалось разобраться в сложном строении гор и восстановить историю их развития. Нами почти разгадан исторический ход горообразовательных процессов, который приблизительно одинаково рисуется всеми исследователями. Но выяснение причин, приводящих в действие этот механизм, находится еще в области гипотез.

Быть может, это вызовет разочарование и подорвет доверие к выводам нашей науки. Но мы не должны забывать, что познание научной истины достигается упорным трудом многих поколений. Многого уже достигла наука, но перед нами еще много загадок, и далеко впереди горит свет истины. Нас отделяет от него целая бездна. Однако через эту бездну может быть перекинут мост. Таким мостом к достижению истины, по выражению Берцелиуса, является научная гипотеза в том случае, если устои ее крепки. Мы можем добавить: пусть этот мост обрушится после того, как мы через него прошли. Он выполнил свое назначение, если позволил нам продвинуться вперед и подойти ближе к правильному познанию мира. И еще мы должны сказать, что твердыми будут лишь те устои «мостов гипотез», которые заложены на основе диалектико-материалистического понимания процесса развития природы.

Познаем ли мы мир до конца? Найдем ли мы ответ на все эти вопросы, которые ставит перед нами природа? Мы должны сказать, что нашему познанию мира не может быть поставлено границ и что работа научной мысли не знает предела. Всякое новое достижение ставит перед нами новые вопросы и все шире раздвигает рамки наших исследований.

Но эта необъятность не должна страшить нас. Отдельный человек не имеет ни сил, ни времени жизни, чтобы охватить все. Поле деятельности его ограничено. Но, работая в своей маленькой области, мы не должны забывать, что нет ничего ничтожного и обособленного в природе и что мы не одиноки в своем труде. Каждое отдельное явление есть только часть одного непрерывного процесса развития и изменения мира, работа каждого из нас сливается в одно великое целое с работой всего трудящегося и мыслящего человечества, и каждое маленькое достижение есть шаг вперед ближе к познанию научной истины.

---



## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение . . . . .	3
Глава 1. Как разрушаются горы . . . . .	23
Глава 2. Из чего и как построены горы . . . . .	55
Глава 3. История горных цепей земного шара . . . . .	80
Глава 4. Гипотезы горообразования . . . . .	110

Редактор А. И. Пермякова

Техред А. Я. Линков

Обложка художника Г. А. Петрова

Л125637 Сдано в набор 10/IX 1948 г. Подписано к печ. 18/X 1948 г. Объем 9<sup>3</sup>/<sub>4</sub> п. л. Формат 70x108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Уч.-изд. 13,7 л. Зн. в п. л. 56320. Тираж 20.000 экз. Зак. № 1398

2-я тип. Углетехиздата Мин. угольной пром. вост. районов СССР, Москва, Давыдовский пер., 4.



Цена 8 руб.

