**Процесс образования рельефа поверхности суши и дна океанов**

1. **Планетарные формы рельефа**

Представь себе на минуту: все неровности земной поверхности исчезли, все горы и впадины сравнялись таким образом, что получилась ровная планета-шар. В таком случае вся поверхность Земли оказалась бы ровным дном под слоем всемирного океана, имеющего везде глубину 2,5 км. Вряд ли было бы удобно жить на такой планете. Для людей такая планета не годилась бы.

Поэтому очень хорошо то, что у нашей планеты есть неровности. Правда, не столь уж они велики. Самая высокая точка на Земле - вершина горы Джомолунгма (она же Эверест, Сагарматха) находится на высоте 8846 м над уровнем моря. Самая низкая точка на Земле находится на дне Марианского желоба на глубине 11022 м от уровня моря (длина желоба 1340 км). Получается, что максимальный перепад высот составляет 19868 м, т.е. около 20 км. Это примерно в 300 раз меньше радиуса земного шара. Казалось бы, совсем немного. Однако благодаря именно неровностям планеты на ней есть континенты (материки) и острова, возвышающиеся над поверхностью Мирового океана. Напомним, что на долю Мирового океана приходится 71% поверхности земного шара, тогда как на долю суши (континентов и островов) приходится 29% .

Неровности поверхности планеты (неровности суши и неровности океанического дна) рассматриваются как формы, рельефа. Какие самые крупные формы рельефа? Не торопись давать часто предлагаемый ответ, что это есть горы. Самые крупные формы рельефа - это материки и дно океанов. Их называют планетарными формами рельефа.

Полагаю, что нет необходимости напоминать тебе все материки и океаны Земли. А вот отметить их антиподалъностъ будет нелишне. Что такое антиподальность? Вспомни, что антиподами называют обитателей диаметрально противоположных пунктов на поверхности земного шара. Проведи мысленно из какого-то пункта А прямую линию через центр земного шара. Обозначим через В точку ее пересечения с поверхностью шара на обратной стороне. Обитатели в пункте А и в пункте В - это и есть взаимные антиподы. Один является антиподом по отношению к другому. Но вернемся к материкам и океанам. Выбери какую-нибудь точку на одном из материков и проведи из нее мысленно прямую через центр земного шара. В большинстве случаев эта прямая выйдет через поверхность Земли где-то в океане. Антиподальность суши и океана означает, что материки как бы противостоят океанам. Самый крупный материк - Евразия -противостоит самому крупному океану - Тихому океану. Антарктида имеет своим антиподом Северный Ледовитый океан. Любопытно, не правда ли? Конечно, встречаются исключения, но они, будучи исключениями, как раз подтверждают правило.

Задание. Потренируемся с глобусом. Выбери на нем какую-то точку где-то на материке и отыщи соответствующую точку на обратной стороне глобуса. Поиск точки-антипода проводится с помощью географических координат. Ты фиксируешь координаты исходной (выбранной тобой) точки, а затем соображаешь, какими должны быть координаты ее антипода. Проделай это упражнение не менее 20-30 раз, выбирая исходные точки произвольно и на разных материках. Подсчитай в процентах долю случаев, когда антиподальность суши и океана нарушается.

1. **Макроформы рельефа материков**

рельеф суша океан материк

После планетарных форм рельефа идут так называемые макроформы. Это главным образом горные хребты и нагорья, а также крупные впадины. Как на материках, так и на дне океанов. Именно о макроформах рельефа мы сейчас и поговорим. Касаться более мелких форм рельефа (в частности, отдельных гор, холмов, котловин, оврагов и т.п.) мы не будем.

Основные макроформы рельефа материков тебе, конечно, известны. В Евразии главные горные цепи и массивы протянулись полосой с запада на восток - примерно от 40°-50° с.ш. на западе (в Европе) до 30°-45° востоке (в Азии). Это так называемый Алъпийско-Гималайский горно-складчатый пояс (геологи называют его также Анатолийским разломом). Здесь образование складок в земной коре и поднятие гор произошли примерно 20-10 млн. лет назад (подробнее об образовании гор смотри в п. 3.4).

Возьмем глобус или физическую карту мира и проследим, перемещаясь с запада на восток, последовательность горных массивов: Пиренеи, Альпы, Карпаты, Кавказ, Иранское нагорье, Гиндукуш, Кунь-Лунь, Тибетское нагорье, Гималаи. К северу от этой грандиозной системы горных массивов находятся Уральские горы, Памир, Тянь-Шань, Алтай, Саяны, горные хребты Средней и Восточной Сибири, Дальнего Востока, Камчатки.

Кроме Альпийско-Гималайского пояса, на земных континентах есть еще одна грандиозная горная цепь. Она протянулась с севера на юг вдоль восточного побережья Тихого океана. Это Кордильеры Северной Америки и Анды Южной Америки. Вдоль западного побережья Тихого океана тоже протянулись горные системы, но их картина более сложна. Они разветвляются, выходят на острова, огибают окраинные моря (такие, как Чукотское, Охотское, Японское, Восточно-Китайское, Филиппинское, Южно-Китайское и другие), проходят по восточному побережью Австралии (Большой Водораздельный хребет). Получается, что Тихий океан опоясан горными цепями.

1. **Срединно-океанические хребты, океанические глубоководные желоба, разломы**

Если горные цепи континентального рельефа тебе, в общем, известны, то, думаю, этого не скажешь о макроформах рельефа дна океанов. Прежде всего здесь надо выделить срединно-океанические хребты. Их расположение показано на приведенном на с. 62 рисунке-схеме. Как легко видеть, они образуют единую систему горных цепей на дне Мирового океана общей протяженностью свыше 60 тысяч километров. Высота этих хребтов, измеряемая от подошвы гор, составляет примерно от 2 до 4 км. Отдельные вершины поднимаются над уровнем океана в виде вулканических островов. На рисунке-схеме показана почти вся система срединно-океанических хребтов: Срединно-Атлантический хребет, Атлантическо-Индийский хребет (Западно-Индийский хребет), Центрально-Индийский хребет, Южно-Ост-Индский хребет, ТихоокеанскоАтлантический хребет (Южно-Тихоокеанский хребет), Восточно-Тихоокеанский хребет, Чилийский хребет и др. Многие из этих хребтов хорошо просматриваются на представленных здесь реконструкциях рельефа дна океанов. Представлены две реконструкции рельефа дна - одна для Атлантического океана и большей части

Индийского океана (см. с. 64), другая - для большей части Тихого океана (см. с. 65). Эти реконструкции производят достаточно сильное впечатление, не так ли? Их стоит повнимательнее рассмотреть. Хорошо видны проходящие вдоль оси срединно-океанических хребтов узкие глубокие трещины-провалы (так называемые рифтовые впадины). Склоны хребтов изрезаны многочисленными поперечными ущельями и разломами. Реконструкция рельефа дна океанов выполнена на основе данных по эхолокации дна и наблюдений, проводившихся космонавтами с околоземной орбиты.

Наряду со срединно-океаническими хребтами важной особенностью рельефа дна океанов являются океанические глубоководные желоба. На нашем рисунке-схеме видно, что они протянулись вдоль западной, северной и восточной окраин Тихого океана, подступая практически вплотную к побережью (на рисунке-схеме отмечены желоба: Перуанско-Чилийский, Алеутский, Курильский, Японский, Марианский, Рюкю, Филиппинский, Яванский, Новогебридский). Глубоководные желоба представляют собой вытянувшиеся на огромные расстояния весьма глубокие понижения дна в сравнительно узкой пограничной зоне между материком (или группой островов) и океаном. Глубины желобов обычно больше 4-5 км; они могут доходить до 8-10 км. На реконструкции рельефа дна Тихого океана хорошо просматриваются многие глубоководные желоба, в том числе наиболее глубокий Марианский желоб (его оконечности отмечены белыми кружочками).

Надо отметить также наблюдающиеся на дне океанов тектонические разрывы (разломы), связанные со сбросами, сдвигами, надвигами горных пород. Отметим большие тихоокеанские разломы: Р - разлом Мендоси-но, Р2 - разлом Марри, Р3 - разлом Молокаи, Р4 - разлом Кларион, Р5 -разлом Клиппертон, Рв - разлом Галапагос, Р7 - разлом Пасхи, Р8 - разлом Элтанин. Все эти разломы хорошо просматриваются на реконструкции рельефа дна Тихого океана. Заметим, что у восточной оконечности разлома Галапагос находятся знаменитые Галапагосские острова, а у западной оконечности разлома Молокаи - Гавайские острова.

1. **Эндогенные и экзогенные процессы рельефа**

А теперь давай подумаем вот о чем. Коль скоро поверхность нашей планеты имеет какой-то рельеф, то, значит, на нее действовали какие-то силы, которые все эти неровности создали. Создали горные цепи, нагорья, рифовые трещины, разломы, котловины, желоба и тому подобное. Трудно представить, что все эти силы, выполнив некогда свою работу, вдруг затем исчезли. Следовательно, неровности земной поверхности, или, иными словами, ее рельеф изменялся в течение всего времени существования нашей планеты и будет изменяться, пока будет существовать планета. Это означает, что земная кора не является чем-то вечным, а имеет свою историю, которую все время творят упомянутые ранее силы. Что же это за силы? Их принято разделять на две группы - внутренние и внешние. Внутренние силы Земли проявляются в тектонических процессах, явлениях магматизма и вулканизма. Тектонические процессы - это различные движения земной коры, инициированные земными недрами: вертикальные сдвиги, изгибы, собирание в складки, горизонтальные смещения. Явления магматизма связаны с расплавлением, перемещением, застыванием магмы, а также с происходящими в магме превращениями. Явления вулканизма - это, по сути дела, те же явления магматизма, но происходящие не в земных недрах, а на поверхности. Все процессы, обусловленные внутренними силами Земли, геологи называют эндогенными (от греческих слов «эндон» - «внутри» и «генес» - «рождение»).

Внешние силы Земли являются внешними по отношению к земной коре. Эти силы действуют на земную кору со стороны гидросферы, атмосферы, живых организмов. В частности, со стороны человека. Сюда надо отнести также воздействие на земную кору солнечных лучей и метеоритов. Процессы, обусловленные внешними силами, геологи называют экзогенными (греческое слово «экзо» означает «вне»).

В двух предыдущих темах мы рассматривали земные недра. Поэтому разговор о процессах, изменяющих земную кору, логично начать с эндогенных процессов. Так мы и сделаем.

1. **Гипотеза Вегенера о дрейфе материков**

Как тебе уже известно (вспомни п. 1.1), в конце XIX столетия для объяснения образования гор предлагались две гипотезы. Согласно первой гипотезе горы образуются вследствие давления изнутри расплавленной магмы, что может приводить к поднятию отдельных участков земной коры и к разрывам в коре. В первом случае гора рождается в результате куполообразного выгибания коры, а во втором - в результате накопления лавы, образовавшейся из магмы, излившейся на поверхность. Такова гипотеза поднятия кратеров. Вторая гипотеза исходила из того, что по мере остывания магмы в недрах Земли земной шар должен немного сжиматься, в результате чего земная кора будет морщиться и собираться в складки, образуя складчатые горы. Это была гипотеза контракции. Мы с тобой об этих гипотезах уже говорили.

Когда-то казалось, что данные гипотезы позволяют полностью объяснить образование гор. А что касается расположения и конфигурации материков (а значит, и океанов), то они заведомо предполагались неизменными. Получалось, что планетарные формы рельефа сохраняются на все времена, а изменениям подвергаются только макроформы (и разумеется, более мелкие формы рельефа). Согласись, что в этом была некоторая нелогичность. С какой стати полагать вечными какие-то формы рельефа, коль скоро остальные формы изменяются?

Возможно, подобный вопрос пришел в голову немецкому метеорологу Альфреду Вегенеру (1880-1930) и заставил его усомниться в неизменяемости материков. Ученый обратил внимание на то, что очертания восточного берега Южной Америки весьма точно совпадают с очертаниями западного берега Африки. Вегенер установил большое сходство растительного и животного мира, а также геологического строения пластов горных пород Южной Америки и Африки. Отсюда он сделал вывод, что когда-то давно

Южная Америка и Африка представляли собой единый континент, который потом раскололся на два континента. Континенты постепенно разошлись в разные стороны, в результате чего образовался (как говорят геологи, раскрылся) Атлантический океан.

Это был сенсационный вывод. Получалось, что материки вовсе не неизменны! Они могут раскалываться на части и перемещаться по поверхности земного шара. Вегенер назвал это дрейфом материков. Продолжая исследования, он наглел новые подтверждения своей гипотезы о дрейфе материков. Он выяснил, что в прошлые геологические периоды климат на современных материках был иным. Это можно объяснить тем, что дрейфующие материки с течением времени перемещаются из одних климатических поясов в другие.

Со своей гипотезой Вегенер выступил 6 января 1912 года на собрании Немецкого геологического общества воФранкфурте-на-Майне. В 1915 году он изложил ее в книге «Происхождение континентов и океанов». В чем же заключалась суть гипотезы Вегенера? Сформулируем ее вкратце.

По Вегенеру, существует неподвижная базальтовая земная кора, и по этой коре скользят (дрейфуют) состоящие из гранита материки; при определенных условиях они могут раскалываться, от них могут откалываться какие-то части. Примерно 250 млн. лет назад на Земле существовал единый материк; соответственно, существовал и единый океан. Единый материк уместно называть Пангеей (от греческих «пан» - «вся» и «гея» -«земля»), а единый океан - Панталассом (от греческого «таласса» -«море»). На рубеже палеозоя и мезозоя Пангея начала распадаться на ряд континентов. В результате дрейфа этих материков раскрылись в неогеновом периоде Атлантический и Индийский океаны. На приведенном рисунке показано, как, по Вегенеру, постепенно изменялись очертания континентов и как раскрывались Атлантический и Индийский океаны.

Но почему произошел распад Пангеи? Какие силы заставляют дрейфовать материки? Эти вопросы оставались, по сути дела, открытыми. Вегенер мог указать только одну причину - вращение Земли вокруг собственной оси. Он считал, что под действием именно вращения Земли Пангея раскололась на части, которые стали перемещаться по своим траекториям и с разными скоростями. Перед передним краем скользящих континентов осадочные породы сминались в складки с образованием горно-складчатых массивов.

Гипотеза Вегенера произвела сильное впечатление. Появились как горячие сторонники этой гипотезы, так и не менее горячие противники. Особенно сильно противники критиковали Вегенера за то, что его гипотеза толком не объясняла, почему и каким образом твердые гранитные массивы скользят по твердым базальтовым породам. В результате в конце 1930-х годов гипотеза Вегенера была почти повсеместно отвергнута. Одни называли ее «прекрасной мечтой поэта», другие - «дикой фантазией Вегенера». Этой фантазии-мечте суждено было возродиться в 1960-х годах. Она возродилась уже на новом витке, в новом качестве. Гипотеза дрейфа материков превратилась в достаточно стройную научную концепцию под названием глобальная тектоника литосферных плит.

1. **Движущиеся литосферные плиты**

**Литосферные плиты.** Глобальную тектонику литосферных плит надо рассматривать как дальнейшее развитие вегенеровской гипотезы дрейфа материков. Это развитие в немалой степени обязано прозорливости английского ученого Артура Холмса (1890-1965), который в 1940-х годах предсказал явления, известные сегодня как спрединг и субдукция литосферных плит.

Но прежде чем говорить об этих явлениях, мы должны выяснить, что такое литосферные плиты.

Тебе уже известно, как выглядит земной шар в разрезе (смотри п. 1.5) Твердые массы земной мантии окружены слоем вязкой астеносферы, которая находится в своеобразном пластичном «твердо-жидком» состоянии и обладает текучестью, хотя и довольно медленной. Этот слой окружен твердой наружной оболочкой - литосферой. Она включает в себя самую верхнюю часть мантии (находящуюся над астеносферой) и земную кору с ее базальтами, гранитами, осадочными породами.

Литосферу называют твердым панцирем планеты. Звучит красиво, но не вполне точно. Панцирь - это нечто прочное и монолитное. Может ли литосфера быть таким панцирем? Подумай, в каких условиях находится этот весьма тонкий и твердый (а значит, достаточно хрупкий) шаровой слой. Снаружи его ничто не прижимает, не удерживает, а изнутри его атакует находящаяся хотя и в медленном, но непрерывном движении «полужидкая» и достаточно горячая астеносфера. Вполне очевидно, что в таких условиях литосферная оболочка не может сохранить монолитность; она должна потрескаться на отдельные куски.

Так оно и есть в действительности. Литосферный панцирь оказался не монолитной оболочкой, а совокупностью расколотых на отдельные части кусков оболочки - так называемых литосферных плит. Площади этих литосферных плит различны, многие достаточно велики. Наиболее интересные плиты (они имеют собственные названия) своими размерами сравнимы с материками, а некоторые оказываются еще больше. Поэтому не следует воспринимать литосферные плиты как плоские плиты, они являются частями сферической земной оболочки.

На схеме, изображающей карту мира (с. 71), показаны основные литосферные плиты и даны их названия. Из восемнадцати приведенных здесь плит первые восемь считаются главными. Самая большая плита находится под Тихим океаном и занимает почти всю его территорию. Это так называемая Тихоокеанская плита. Далее идет Североамериканская плита; она занимает территорию Северной Америки, половину территории Северного Ледовитого океана и северо-западный участок Атлантического океана. Ев-разиатская плита занимает территорию Европы, примерно половину территории Азии и Северного Ледовитого океана, северо-восточный угол Атлантического океана. Африканская плита - это Африка плюс треть территории Атлантики. Южноамериканская плита - Южная Америка плюс треть территории Атлантики. Индо-Австралийская плита - Австралия, Индостан и добрые две трети территории Индийского океана. Антарктическая плита - это Антарктида. Плита Наска занимает восточную часть территории Тихого океана, равную по площади материку Южной Америки.

Как были выявлены литосферные плиты и как были установлены их границы? Их установили достаточно четко, регистрируя эпицентры более или менее значительных землетрясений, которые происходили на Земле с 1950 по 1974-й год. На нашей схеме эти эпицентры представлены в виде точек и пятен. Они очень наглядно показывают, по каким линиям проходят границы литосферных плит. Разбиение литосферной оболочки на отдельные плиты и сейсмичность Земли теснейшим образом взаимосвязаны.

Можно сказать, что литосферные плиты в буквальном смысле плавают на внешней поверхности вязкой астеносферы. При этом они могут слегка подниматься, опускаться, а также перемещаться в горизонтальном направлении. Понятно, что земная кора, будучи составной частью литосферы, участвует во всех этих движениях.

Движение литосферных плит

Обрати внимание на то, что на схеме с литосферными плитами проставлено множество стрелок. Они указывают направления движения литосферных плит и, в частности, направления движения материков. Как видишь, Вегенер оказался прав в главном: материки и вправду перемещаются по земной поверхности. Но он ошибался, думая, что движутся сами материки по базальтовому дну Мирового океана. На самом деле происходит движение литосферных плит по астеносфере. А уже вместе с литосфер-ными плитами движутся и находящиеся на них материки.

Вполне понятны причины такого движения. Оно обусловлено движениями «полужидкой» магматической массы, происходящими в астеносфере. Эта масса как бы подхватывает находящиеся на ней литосферные плиты и вовлекает их в движение. А движение самой астеносферы вызывается потоками тепловой энергии, распространяющимися из глубин земных недр. Ученые выяснили, что скорость движения литосферных плит в горизонтальном направлении составляет в среднем 5 см/год. Кажется немного, но за миллион лет наберется 50 км. А ведь миллион лет в геологических масштабах - это не такой уж большой срок.

И вот тут возникает весьма непростая проблема. Взгляни еще раз на схему с литосферными плитами. Плита Наска (она находится там под номером 8) движется навстречу Южноамериканской плите (номер 5). Спрашивается: куда девается вещество этих надвигающихся друг на друга плит? В то же время плита Наска движется прочь от Тихоокеанской плиты (номер 1). Спрашивается: откуда берется вещество для восполнения раздвигающихся друг от друга плит?

Чтобы ответить на эти вопросы, надо разобраться с явлениями, называемыми субдукцией и спредингом литосферных плит. Явление спрединга происходит на границе раздвигающихся плит и объясняет, откуда берется вещество для восполнения этих плит. Явление субдукции происходит на границе надвигающихся друг на друга плит и объясняет, куда деваются «излишки» вещества этих плит. Чуть позже станет понятным происхождение терминов «спрединг» и «субдукция».

1. **Удивительные явления - спрединг и субдукция**

Эти явления иллюстрирует рисунок на с. 74. Начнем со спрединга. Он происходит вдоль срединно-океанических хребтов - границ раздела раздвигающихся плит (эти границы всегда проходят по океаническому дну). На нашем рисунке срединно-океанический хребет разделяет литосферные плиты А и В. Это могут быть, например, Тихоокеанская плита и плита Наска соответственно. Линии со стрелками на рисунке показывают направления движения магматических масс астеносферы. Легко видеть, что астеносфера стремится увлечь плиту А влево, а плиту В вправо и тем самым раздвигает эти плиты. Раздвиганию плит способствует также поток магмы астеносферы, направленный снизу вверх прямо к границе раздела плит; он действует подобно своеобразному клину. Итак, плиты А и В слегка раздвигаются, между ними образуется расщелина (рифт). Давление пород в этом месте падает и там возникает очаг расплавленной магмы. Происходит подводное извержение вулкана, расплавленный базальт изливается через расщелину и застывает, образуя базальтовую лаву. Вот таким образом и наращиваются края раздвигающихся плит А и В. Итак, наращивание происходит за счет магматической массы, поднявшейся из астеносферы и разлившейся по склонам срединно-океанического хребта. Отсюда и английский термин «спрединг», что означает «расширение», «растекание».

Следует иметь в виду, что спрединг происходит непрерывно. Плиты АиВ все время наращиваются. Именно так и осуществляется движение данных плит в разные стороны. Подчеркнем: движение литосферных плит -это не есть перемещение какого-то объекта в пространстве (с одного места на другое); оно не имеет ничего общего с движением, скажем, льдины на поверхности воды. Движение литосферной плиты происходит за счет того, что в каком-то месте (там, где находится срединно-океанический хребет) все время наращиваются новые и новые части плиты, в результате чего ранее образовавшиеся части плиты все время отодвигаются от упомянутого места. Так что данное движение следует воспринимать не как перемещение, а как разрастание (можно сказать: расширение).

Ну а при разрастании, естественно, возникает вопрос: куда девать «лишние» части плиты? Вот плита В разрослась настолько, что достигла плиты С. Если в нашем случае плита В - это плита Наска, то плитой С может служить Южноамериканская плита.

Заметим, что на плите С находится материк; это более массивная плита по сравнению с океанической плитой В. Итак, плита В достигла плиты С. Что же дальше? Ответ известен: плита В прогнется книзу, поднырнет (подвинется) под плиту С и будет продолжать разрастаться в глубинах астеносферы под плитой С, постепенно превращаясь в вещество астеносферы. Это явление называют субдукцией. Данный термин происходит от слов «суб» и «дукция». По-латыни они означают «под» и «веду» соответственно. Так что «субдукция» - это подведение подо что-то. В нашем случае плита В оказалась подведенной под плиту С.

На рисунке хорошо видно, что вследствие прогиба плиты В глубина океана вблизи края континентальной плиты С возрастает - здесь образуется глубоководный желоб. Рядом с желобами обычно возникают цепочки действующих вулканов. Они образуются над тем местом, где «поднырнувшая» литосферная плита, наклонно уходящая в глубину, начинает частично плавиться. Плавление происходит вследствие того, что температура с глубиной заметно повысилась (до 1000-1200 °С), а давление пород возросло пока еще не очень сильно.

Теперь ты представляешь сущность концепции глобальной тектоники литосферных плит. Литосфера Земли - это совокупность плит, которые плавают на поверхности вязкой астеносферы. Под воздействием астеносферы океанические литосферные плиты движутся в направлении от срединно-океанических хребтов, кратеры которых обеспечивают постоянное нарастание океанической литосферы (это есть явление сцрединга). Океанические плиты движутся к глубоководным желобам; там они уходят в глубину и в конечном счете поглощаются астеносферой (это явление субдукции). В зонах спрединга земная кора «подпитывается» веществом астеносферы, а в зонах субдукции она возвращает «излишки» вещества в астеносферу. Эти процессы происходят за счет тепловой энергии земных недр. Зоны спрединга и зоны субдукции наиболее активны в тектоническом отношении. На них приходится основная масса (более 90%) очагов землетрясений и вулканов на земном шаре.

Описанную картину дополним двумя замечаниями. Во-первых, существуют границы между плитами, перемещающимися примерно параллельно друг другу. На таких границах одна плита (или часть плиты) смещается относительно другой по вертикали. Это так называемые трансформные разломы. Примером могут служить большие тихоокеанские разломы, идущие параллельно друг другу. Второе замечание состоит в том, что субдукция может сопровождаться процессами сминания и образования горных складок на краю континентальной коры. Именно так образовались Анды в Южной Америке. Особого разговора заслуживает образование Тибетского нагорья и Гималаев. Об этом мы поговорим в следующем параграфе.

1. **Образование гор и горных хребтов**

Океаническая плита Наска, двигаясь навстречу континенту, находящемуся на Южноамериканской плите, пододвигается под континент; и при этом края континентальной коры сминаются в горные складки. Так можно объяснить образование огромного горного хребта вдоль западного побережья Южной Америки. Это тебе уже известно. А что будет, если плита с

континентальной корой сблизится с другой такой же плитой? В этой ситуации ни одна из плит не станет пододвигаться под встречную плиту, и в результате произойдет грандиозное смятие горных пород в складки. И не просто смятие в складки, а нагромождение пород с образованием высоких нагорий и протяженных горных цепей. Именно это происходило в течение последних 20 млн. лет на южной границе Евразиатской плиты, с которой сблизились Индо-Австралийская и Африканская плиты. В результате образовался Альпийско-Гималайский горноскладчатый пояс.

Посмотри на рисунок с видом на Заалайский хребет (он находится на Севере Памира). Перед тобой гигантское нагромождение гор высотой 6-7 км, закованное во льды. Оно напоминает гребень огромной морской волны, которая застыла перед тем, как обрушиться на берег. Представь себе: эти величественные каменные громады постепенно поднимались в течение двух десятков миллионов лет в результате того, что Индо-Австралийская плита давила на Евразиатскую. И подобных горных хребтов эти две плиты создали немало. Среди них такие гиганты, как Гималаи, Кунь-Лунь, Гиндукуш. И все Тибетское нагорье поднялось в результате сближения плит, ни одна из которых не пожелала уступить и «нырнуть» под другую, уходя от всех проблем в глубь астеносферы.



**Заалайский хребет**

В наше время никто не сомневается, что крупные и протяженные горные цепи возникли в процессе сближения тех или иных литосферных плит. В общем, так оно и есть. Однако в разных конкретных случаях надо учитывать также и другие процессы, приводящие к образованию гор. Так, сближение плит может приводить к нарастанию нижней части континентального участка литосферной плиты. Напомним, что плита плавает на астеносфере; поэтому при возрастании ее толщины горные породы начнут выпирать наверх. Поверхность континента начнет подниматься, вследствие чего могут образоваться горы и целые нагорья. По-видимому, именно так образовались Скалистые горы в Северной Америке и горные массивы в Антарктиде.

Надо иметь в виду, что горы образуются также за счет постепенного накопления продуктов вулканических извержений. Вулканические горы имеются в изобилии во многих местах планеты. В частности, они есть и там, где горообразование идет за счет процессов, возникающих при сближении литосферных плит. Так, много вулканических гор в Андах, на юге Европы, на Иранском нагорье, в Индонезии. Много вулканических гор также в Скалистых горах Северной Америки и в Антарктиде.

Так или иначе, но главная причина горообразования - это процессы в астеносфере. Литосферные плиты плавают на ней и под ее воздействием поднимаются (равно как и опускаются), выгибаются (равно как и прогибаются) и участвуют в горизонтальных движениях, которые сопровождаются сминанием каких-то участков коры, столкновением континентальных участков плит, нарастанием пород под континентами. А поскольку процессы в астеносфере происходят все время, то, следовательно, все время происходит образование гор.

Горы не только образуются, но и разрушаются

Значит ли это, что горы на Земле все время растут? С какой скоростью они растут? Насколько высоко могут подняться горные системы? Интересные вопросы возникают, не правда ли? С одной стороны, очевидно, что горообразование должно продолжаться все время, пока происходят движения в астеносфере. Они происходят вот уже около 5 млрд. лет, и можно не сомневаться, что будут продолжаться еще несколько миллиардов лет.

С другой стороны, очевидно, что горы не могут подниматься и подниматься. По подсчетам ученых скорость поднятия земной коры на границе Индо-Австралийской и Евразиатекой плит (скорость поднятия Тибета и

Гималаев) составляет примерно 5 мм/год. Известно, что это поднятие началось 10-20 млн. лет назад (в неогеновый период кайнозоя). Легко подсчитать, что за 10 миллионов лет земная кора должна была бы подняться здесь на 50 км. Однако этого не случилось. Высота Гималаев не достигает 9 км; высота Тибетского нагорья еще меньше. Ученые считают, что высота гор на Земле вообще не может превышать 10-15 км на суше (подводные горы могут быть немного выше, если, конечно, измерять их от основания). В чем же дело? Что мешает горам расти ввысь, несмотря на постоянно происходящий процесс горообразования? Мешают два обстоятельства. Во-первых, горы все время разрушаются под действием солнечных лучей, воды, воздуха, живых организмов, т.е. под действием внешних (экзогенных) сил. Во-вторых, сила земного тяготения ограничивает предельно допустимые высоты гор на Земле. Чтобы определить скорость, с какой растет гора, надо учитывать не только скорость ее образования, но и скорость, с какой она разрушается. И если вторая скорость будет больше первой, то в этом случае гора вообще не будет расти, а будет постепенно превращаться в ровную возвышенность. Кстати, именно это и происходит с Уральскими горами.

Как было сказано, Алышйско-Гималайский пояс образовался в результате того, что сблизились две определенных плиты. Но так говорить, наверное, не совсем правильно. Если говорят, что какие-то два объекта сблизились, то при этом предполагают, что данные объекты ранее не соприкасались, находились на расстоянии друг от друга. А литосферные плиты не находились на расстоянии; они все время соприкасались друг с другом. Как же можно говорить об их сближении или тем более столкновении? Ведь это же не льдины какие-нибудь!

Действительно, движение литосферных плит ничуть не похоже на движение льдин. И понятие «сближение плит» следует понимать не в обычном смысле, а как расширение плит, как их постепенное наращивание, вследствие которого любая конкретная часть данной плиты постепенно движется по направлению к встречной плите. Мы уже говорили об этом в предыдущем параграфе.

Так как же все-таки быть со «сближением плит» («столкновением плит»)?

Будем говорит о сближении (столкновении) не литосферных плит, а материков. Тут сближение или столкновение имеет обычный смысл. Он всем понятен.

Но материки находятся на плитах; они составная часть плит. Вот если бы сами материки перемещались по базальтовой оболочке Земли, как это полагал Вегенер, то тогда было бы ясно, как они сближаются, сталкиваются, расходятся. А как понимать сближение материков, являющихся составной частью литосферных плит? Ведь сами плиты не сближаются.

Вот рисунок, с помощью которого мы рассмотрим конкретную ситуацию. Известно, что примерно 100-150 млн. лет назад к югу от суперматерика, объединявшего тогда Евразию и Северную Америку, находился океан. Геологи дали ему название Тетис по имени греческой богини моря Фетиды. К югу от Тетиса находился континент, который в настоящее время является частью Евразии и называется полуостровом Индостан. Этот древний материк был частью Индо-Австралийской плиты, которая в те времена граничила с Евразиатской плитой по северному берегу Тетиса. Приблизительную карту Земли того времени ты можешь увидеть в п. 3.5. Северный край Индо-Австралийской плиты уходил под Евразиатскую плиту (смотри рисунок, который приводится здесь) и поэтому движение плит навстречу друг другу происходило без особых катаклизмов. В процессе этого движения Индостан постепенно сближался с континентом Евразии. И вот примерно 20-30 млн. лет назад Индостан и южный край тогдашней Евразии сомкнулись (можно сказать, столкнулись, хотя это не совсем подходит для данной ситуации). Поскольку Индо-Австралийская плита продолжала наращиваться и в этом смысле продолжала двигаться на север, а Индостан не мог «поднырнуть» под Евразиатскую плиту, то началось образование горных массивов по линии стыковки Индостана и Евразии. В результате здесь, на месте бывшего океана Тетис, поднялись в течение 20 млн. лет Гималаи и образовалось Тибетское нагорье.

Читатель: В п. 3.2 на рисунке, показывающем, как изменялись очертания материков за последние 250 млн. лет, нет даже намека на океан Тетис. Автор: Этот рисунок предложил в свое время Вегенер. Позднее ученые пришли к заключению, что очертания материков изменялись иначе. Вот тогда и появился Тетис. Об этом мы поговорим в следующем параграфе.

Два этапа в эволюции земного шара

Эволюция земного шара разделяется на два этапа - раннюю историю и геологическую историю Земли. Ранняя история - это период от 5 млрд. лет назад до 3,5 млрд. лет назад (некоторые ученые предлагают отодвинуть границу до 3,8 и даже 4 млрд. лет назад). Далее началась геологическая история Земли, продолжающаяся и поныне.

1. **Ранняя история Земли**

В ранней истории Земли выделяют две фазы - фазу аккреции (фазу рождения) и лунную фазу.

Аккреция - это процесс объединения («слипания») рассеянного в космическом пространстве вещества в какое-либо космическое тело, происходящий под действиям сил гравитации. Слово «аккреция» в переводе с латинского означает «приращение». Аккреция сопровождается высвобождением гравитационной энергии. Простой пример: высвобождение энергии при падении камня на землю. Эта энергия тем больше, чем больше масса камня и высота, с которой он упал.

Итак, 5 миллиардов лет назад началось формирование земного шара за счет аккреции обращающихся вокруг Протосолнца холодных остатков газопылевого облака. Сначала сформировался холодный относительно плотный «комок» - прообраз будущей Земли (Протоземля). Продолжающийся процесс аккреции приводил к постепенному уплотнению

Протоземли и к ее разогреву (за счет гравитационной энергии). В свою очередь, разогрев планеты способствовал перераспределению вещества внутри нее. Вблизи поверхности оставались сравнительно легкие соединения, а расплав из тяжелых соединений концентрировался в центре Протоземли. В результате сформировались земное ядро и мантия. Можно предположить, что расслоение вещества в недрах Протоземли происходило сложным образом: вещество мантии совершало круговорот - погружалось вглубь планеты и снова поднималось к ее поверхности.

В фазе аккреции, длившейся около полумиллиарда лет, наша планета приобрела до 95% современной массы. Поэтому можно считать, что к концу фазы Протоземля превратилась в Землю. Но выглядела Земля в тот период весьма необычно. Ее поверхность представляла собой океан раскаленного расплава с вырывающимися из него газами и водяными парами, которые формировали первичную атмосферу. Заметим, что к этому времени планета стала уже достаточно большой и была способна удерживать рождающуюся атмосферу. В океан расплавленной лавы продолжали врываться космические тела, приносящие с собой массу и энергию и порождающие фонтаны взлета и падения лавы. Картина, которую с полным основанием можно было бы назвать Адом.

Начало лунной фазы сопровождалось появлением тонкой первичной коры из базальта и формированием гранитного слоя материковой коры. Эти процессы происходили вследствие остывания приповерхностного слоя Земли. Остывание объясняется тем, что по мере увеличения поверхности космического тела усиливается возвращение энергии в космическое пространство; оно начинает преобладать над притоком энергии из космоса. Фазу назвали лунной, поскольку поверхность Земли в этот период внешне походила на лунный ландшафт (если полагать, что лунные моря - это моря расплавленного базальта). Твердая земная оболочка была еще весьма хрупкой, она непрестанно разрывалась вследствие давления изнутри - со стороны расплавленной мантии. «Лунные моря» возникали и закрывались. Существенно, что к концу лунной фазы температура вблизи земной поверхности понизилась - сначала до температуры плавления базальта (800-1000 °С), а затем до температуры кипения воды. При температуре ниже температуры кипения воды начался активный процесс конденсации водяных паров, накопившихся в земной атмосфере. На Земле образовалось много воды, целые океаны кипятка. Так началась геологическая история Земли.

Начало геологической истории Земли

Первый этап геологической истории нашей планеты ученые называют раннеокеаническим. Полагают, что он длился примерно один миллиард лет и завершился 2,5 млрд. лет назад. Этот этап соответствует архею на геохронологической шкале. В течение архея произошли очень важные события: образовалась твердая наружная оболочка Земли (ранняя литосфера) и возникла гидросфера. Одни ученые полагают, что вначале вода покрывала всю или почти всю поверхность Земли. Другие считают, что это маловероятно, поскольку к концу архея планета успела «надышать» не более 10% воды от объема ныне существующих морей и океанов. Во всяком случае, ясно, что 2,5 млрд. лет назад можно было уже говорить о континентах и океанах. Кроме того, можно было говорить о литосферных плитах. Разумеется, очертания и состав этих плит тогда заметно отличались от нынешних.

Как выглядела в те времена наша планета? Происходили грандиозные извержения вулканов, создавался своеобразный горный рельеф. Обильные дожди рождали мощные водные потоки, которые разрушали горные хребты. Обломки горных пород сносились реками в понижения и там накапливались. Первичные осадочные породы со временем уплотнялись и под влиянием подземного тепла превращались в прочные метаморфические породы. На дно океанов изливались базальтовые лавы, похожие на те, что изливаются и поныне. Толщина земной коры постепенно увеличивалась, особенно в тех местах, где возникали мощные потоки из мантии. В земной коре стали появляться вздутия, имевшие в поперечнике десятки и сотни километров. Впоследствии они стали зачатками континентов. Согласно современным представлениям, такие «зачатки» континентов возникли в экваториальном поясе Земли.

После раннеокеанического начался этап, который ученые называют океано-континенталъным. Он начался 2,5 млрд. лет назад - в самом начале протерозоя - и продолжался затем в палеозое, мезозое, кайнозое. Короче говоря, этот этап занял все два с половиной миллиарда лет и продолжается поныне. На протяжении всего этого времени трижды происходило объединение континентов (при этом какие-то океаны закрывались) с последующим образованием океанов (при этом континенты распадались и расходились в стороны).

Первое объединение континентов завершилось 1,7 млрд. лет назад (где-то в середине протерозоя). После этого континенты начали распадаться и расходиться, что приводило к раскрытию различных океанов. Затем континенты стали вновь собираться вместе. Второе объединение континентов