

## Лекция 3. Землетрясения. Магматизм.

Помимо тектонических процессов, большое значение для рельефообразования имеют такие эндогенные процессы как землетрясения и магматизм.

### Землетрясения.

Землетрясениями называются сейсмические волны, образующиеся и распространяющиеся в Земной коре и мантии Земли в результате одномоментных перемещений крупных масс вещества в недрах Земли. Чаще всего это происходит при смещении блоков литосферы по разломам (рис. 3.1).

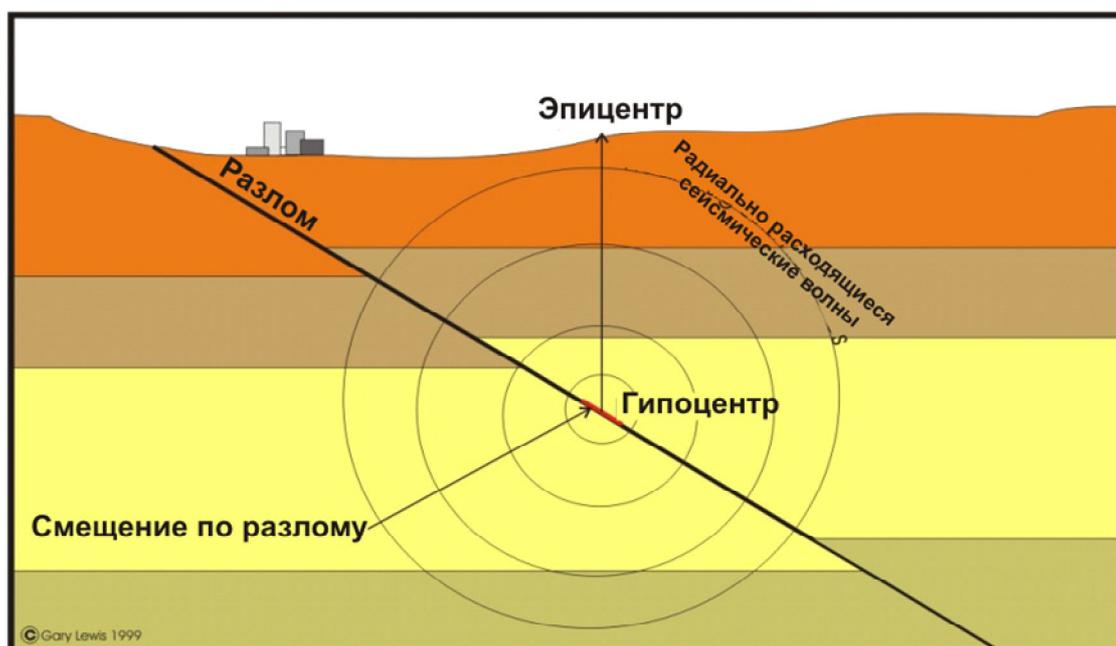


Рисунок 3.1. Схема образования землетрясения

**Фокусом (гипоцентром) землетрясения** называется место (точка), где зарождаются сейсмические волны. Геометрическая проекция этой точки на Земную поверхность называется **эпицентром землетрясения**.

Зародившись в гипоцентре землетрясения, сейсмические волны начинают радиально распространяться по земной коре и мантии. Мощность колебаний убывает по мере удаления от гипоцентра землетрясения, поскольку часть энергии волн тратится на перемещение вещества земной коры и мантии. Соответственно мощность землетрясения на поверхности земли будет максимальна в эпицентре, и убывает по мере удаления от эпицентра.

Сейсмические волны представляют собой сочетание продольных и поперечных волн (рис. 3.2). По мере их прохождения горные породы испытывают сжатие и растяжение не только в направлении перемещения волны, но и поперечные сжатия и растяжения, что приводит к дроблению горных пород, образованию новых разрывных нарушений и преобразованию рельефа.

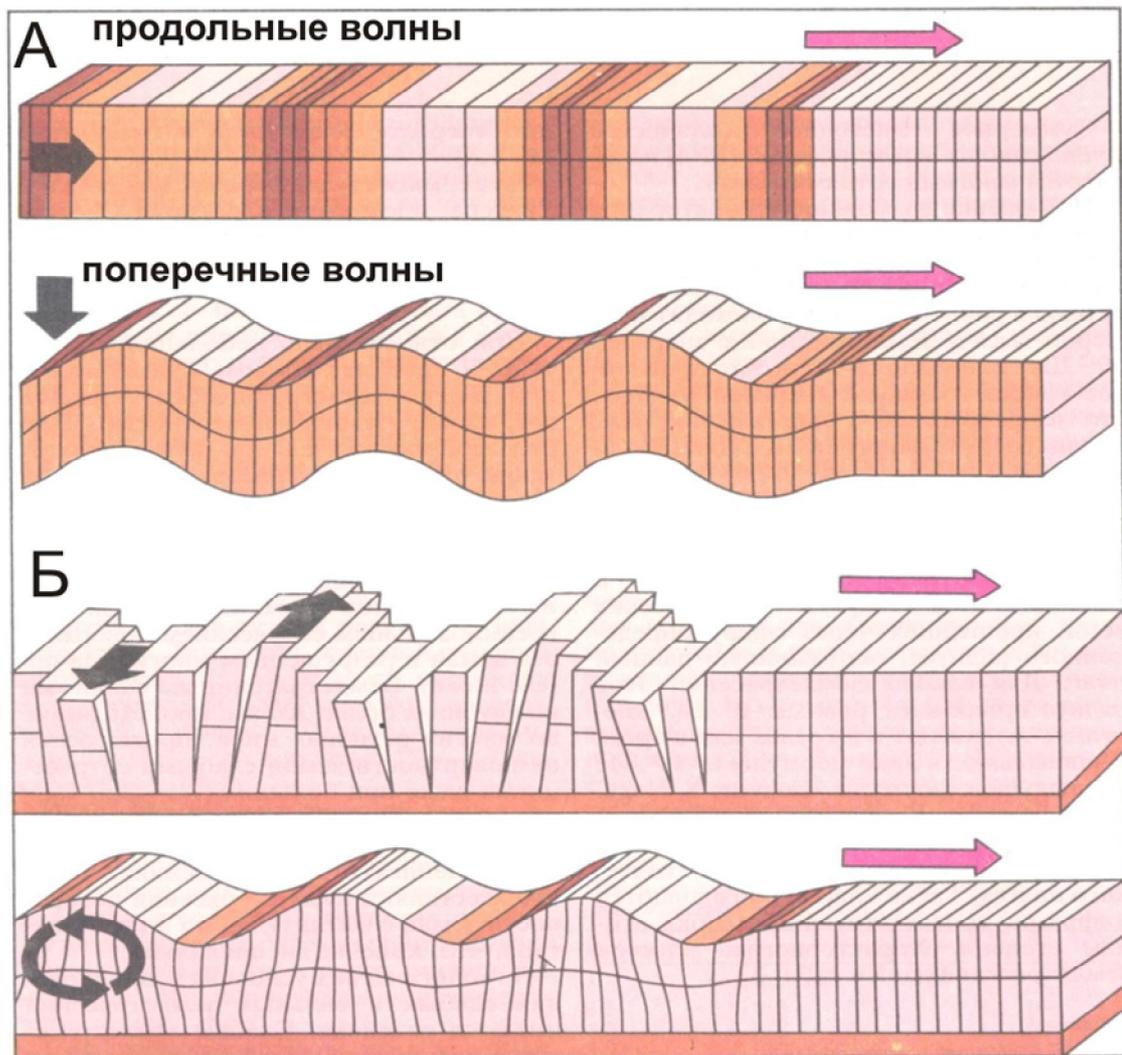


Рисунок 3.2. Типы сейсмических волн (А) и деформации земной поверхности при их прохождении (Б).

Преобразования рельефа за счет деятельности землетрясений сводятся преимущественно к следующим основным вариантам:

- **Появление многочисленных трещин в горных породах**
- **Мгновенная активизация гравитационных процессов (оползни, обвалы, осыпи)**

Обвалы, осыпи и оползни начинают образовываться даже на тех участках земной поверхности, на которых в обычных условиях их не происходит. На тех же участках, где обвалы, осыпи и оползни – обычное явление, в результате землетрясений может увеличиваться интенсивность процессов – возрастает размер и скорость перемещения оползней, увеличиваются объемы обвалов и осыпей.
- **Смещение русел рек. Блокирование стока рек с формированием подпрудных озер**
- **Одновременное изменение высотного положения отдельных участков местности (просадочные явления, формирование отдельных горстов и грабен)**
- **Образование волн цунами и связанное с этим преобразование рельефа побережий**

Образование волн цунами происходит в случае, если эпицентр землетрясения расположен на дне океана. В этом случае может образоваться высокая, но как правило относительно пологая волна, высота и крутизна которой резко увеличивается при приближении к суше и выходе на мелководья. Высота волн цунами может достигать нескольких десятков метров. Эти волны обладают огромной разрушительной силой, поэтому их прохождение сопровождается серьезной перестройкой берегового рельефа и разрушением хозяйственных построек в береговой зоне (рис. 3.3.)



Рисунок 3.3. Участок побережья возле г. Асех (Индонезия) 10.01.2003 г. (А), и после прохождения цунами 29.12.2004 г. (Б).

Все эти проявления землетрясений, как серьезного фактора преобразования рельефа оказывают заметное негативное воздействие на жизнь людей, поскольку несут угрозу сохранности разнообразных инженерных сооружений, а часто и жизни людей.

Поскольку бороться с землетрясениями невозможно, важнейшей задачей является учет возможного воздействия землетрясений при планировании хозяйственной деятельности человека, использование специальных технологий в строительстве, оценка сейсмической опасности территорий.

Для этого существует всемирная сеть станций для наблюдения за землетрясениями. На таких станциях установлены специальные приборы, способные улавливать сейсмические колебания и фиксировать время их проявления и их величину на специальных сейсмограммах. Эти приборы называются сейсмографы.

Существующая сеть сейсмостанция позволяет с высокой точностью определить положение эпицентров землетрясений и силу землетрясений.

Сила землетрясений измеряется в баллах, в зависимости от разрушительного эффекта землетрясений (степени изменения рельефа, разрушения зданий и т.д.). За рубежом для измерения силы землетрясений используется 10-балльная шкала Меркалли. В России для этих же целей принята шкала MSK-64.

Многолетние наблюдения за землетрясениями позволяют утверждать, что расположение гипоцентров и эпицентров землетрясений, а соответственно и районов повышенной сейсмичности, обусловлено тектоническими процессами.

Землетрясения зарождаются при перемещении вещества недр Земли по плоскостям разломов. Наиболее крупные разломы отделяют друг от друга отдельные литосферные плиты. Они отличаются наибольшей протяженностью и прослеживаются на наибольшую глубину в мантии. Установлено, что именно к этим разломам и, в частности, к зонам субдукции, приурочена большая часть гипоцентров землетрясений (рис. 3.4).

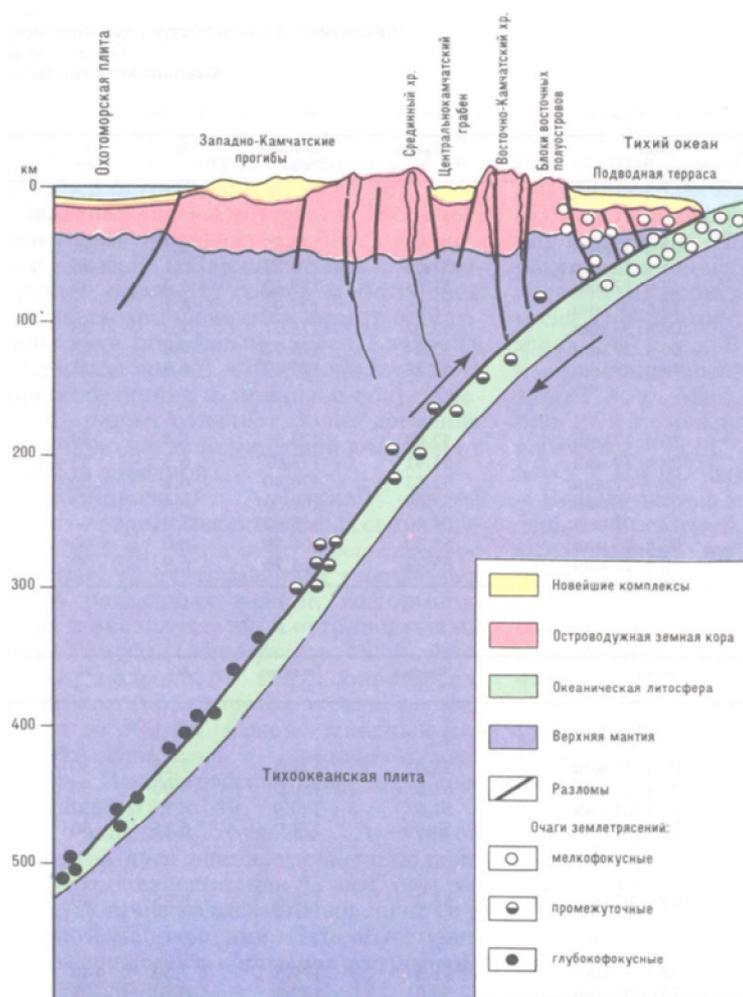


Рисунок 3.4. Расположение гипоцентров землетрясений на континентальной окраине на примере Камчатки.

Подтверждается это и сравнением карты распространения очагов землетрясений с картой литосферных плит (см рис. 2.5 из лекции №2). Практически все землетрясения

приурочены к границам раздела литосферных плит (зонам субдукции или срединно-океаническим хребтам) и лишь малая часть обнаруживается внутри литосферных плит.

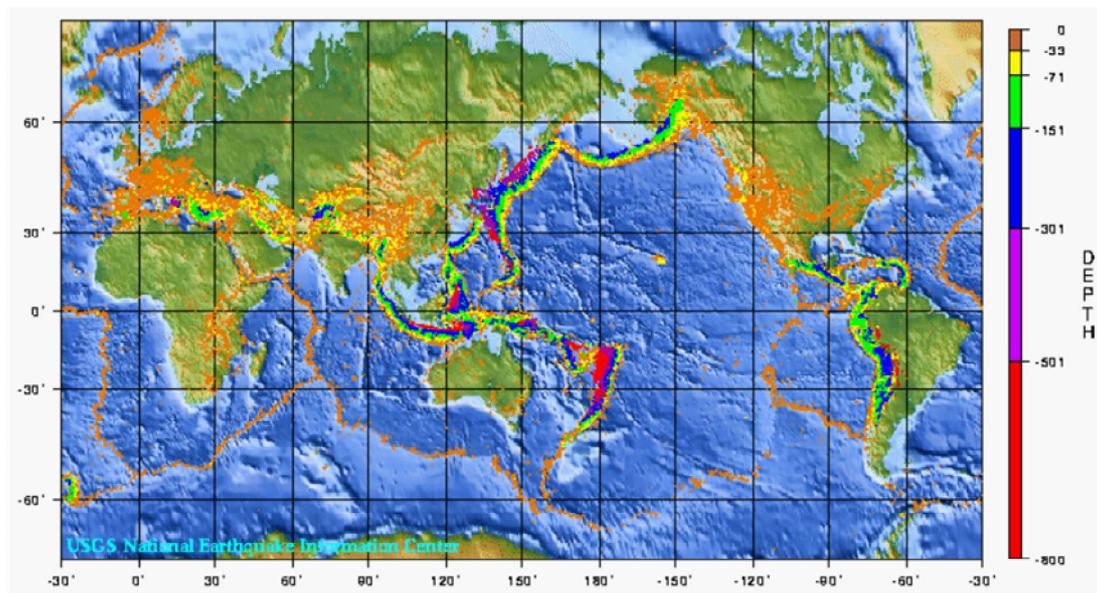


Рисунок 3.5. Карта расположения эпицентров землетрясений за период с 1975 по 1995 г. Цветом обозначена глубина расположения гипоцентра землетрясения.

## Магматизм

**Магма – вещество недр земли (мантии), находящееся в вязкопластичном состоянии (природный расплав).**

В определенных условиях магма отдельных участков верхней мантии приобретает повышенную температуру и способность к перемещению. В этом случае формируется магматический очаг, из которого вещество мантии начинает подниматься к земной поверхности проникая внутрь земной коры по ослабленным зонам, чаще всего приуроченным к крупным разломам. Перемещение вещества мантии сквозь земную кору сопровождается проплавлением непосредственно прилегающих слоев горных пород, а также механическим воздействием на расположенные на большем удалении слои пород. Одновременно может происходить и преобразование рельефа земной поверхности над поднимающимся мантийным веществом.

**Комплекс процессов, связанных с перемещением и застыванием в земной коре и на поверхности земли вещества мантии называется магматизмом.**

Принято выделять два главных типа магматизма:

- интрузивный (глубинный)
- эффузивный (вулканизм).

### Интрузивный магматизм.

Если внедряющаяся из мантии в земную кору магма застывает на значительной глубине, не достигая земной поверхности, то образуется **интрузия**. Интрузия сложена магматическими интрузивными горными породами (граниты, габбро и др.), отличительной особенностью

**которых является полнокристаллическая структура**, образование которой возможно только при медленном постепенном застывании магмы в условиях относительно высоких температуры и давления в глубине земной коры.

Подобно тому, как различаются формы залегания геологических слоев, интрузии также делятся на несколько морфологических видов по своей форме, характеру взаимоотношения интрузивного тела с вмещающими породами, и размеру интрузии.

Выделяются следующие виды интрузий:

**Дайки** – несогласно секущие вмещающие слои горных пород узкие линейно вытянутые интрузивные тела. В случае, если слагающие дайку породы оказываются более устойчивы к разрушению, чем вмещающие породы, дайка препарируется денудацией с образованием положительной формы рельефа (рис 3.6)



Рисунок 3.6. Отпрепарированная денудацией дайка сиенит-порфиров в Каркаралинских горах (центральный Казахстан).

**Штоки** – несогласно секущие вмещающие слои горных пород узкие, изометричные в поперечном сечении интрузии («шток» - палка).

**Силлы** – интрузии, развивающиеся в условиях горизонтального залегания вмещающих пород, при внедрении интрузивных тел между слоями вмещающих пород в виде отдельных прослоев

**Лакколиты** – грибообразные по форме геологические тела. Нижнюю их часть составляет «протыкающий» вмещающие породы подводящий канал, по которому осуществляется поступление магмы. Сверху располагается резко расширяющееся куполообразное, иногда сложной формы, наверху – собственно, тело лакколита. Диаметр

навершия, как правило, не превышает первых километров. При препарировке лакколитов денудацией образуются округлые в плане холмы или отдельные горы (рис. 3.7)

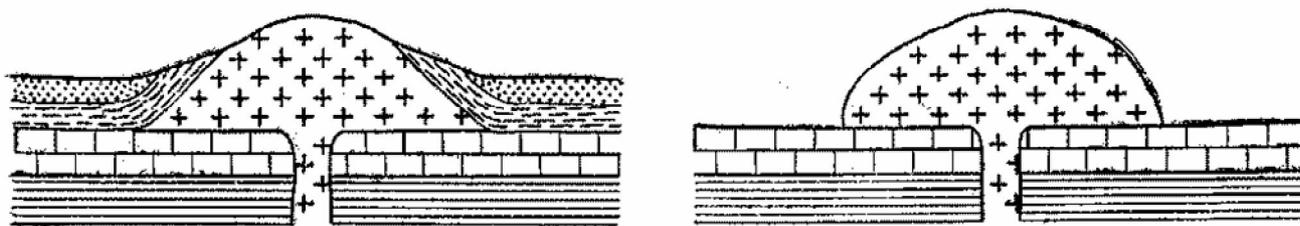


Рисунок 3.7. Лакколит на разных стадиях препарировки денудацией.

**Батолиты** – наиболее крупные интрузивные тела, в целом сходные с лакколитами по форме, но имеющие несколько подводящих каналов и размер навершия в десятки, а иногда и в сотни километров диаметров.

Поднимаясь к поверхности интрузивные тела заставляют перекрывающие их породы прогибаться вверх, формируя на земной поверхности положительные формы рельефа – купола. В этом заключается непосредственное влияние интрузивного магматизма на рельефообразование. Однако интрузии влияют на рельефообразование и после застывания. В последствии они могут быть «откопаны» в результате размыва и уничтожения перекрывающих их горных пород и тогда, будучи выведены на поверхность они начинают играть важную, хотя и пассивную роль в рельефообразовании. Состав слагающих интрузии горных пород практически всегда резко отличается от состава вмещающих пород. В том случае, если породы интрузии оказываются более устойчивы к разрушению, со временем окружающие интрузию горные породы будут уничтожены и интрузия окажется отпрепарирована в виде отдельной горы (лакколиты Кисловодска – см рис.3.8) или в виде крупных горных массивов (батолиты). Если же породы интрузии менее устойчивы к разрушению, то на месте интрузий будут формироваться отрицательные формы рельефа.

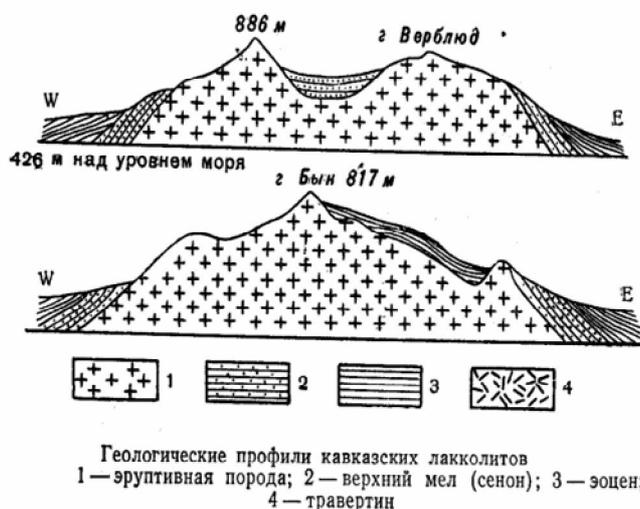


Рисунок 3.8. Геологическое строение лакколитов Кисловодска.

## Эффузивный магматизм. Вулканизм.

**Вулканизмом** называется комплекс процессов, связанных с излиянием вещества мантии на земную поверхность.

Излившаяся на поверхность магма попадает в условия низких давлений и температур, характерные для атмосферы. Содержащиеся в магме газообразные составляющие (водяной пар, диоксид серы и другие газы) мгновенно выделяются из нее, а магма превращается в **лаву** (рис. 3.9), перемещающуюся в виде лавовых потоков.



Рисунок 3.9. Базальтовый лавовый поток. Гавайи.

Консистенция лавы и расстояние, на которое она способна перемещаться зависит прежде всего от химического состава лавы. В зависимости от содержания кремнезема  $\text{SiO}_2$ , лавы делятся на кислые (наибольшее содержание кремнезема), средние, основные и ультраосновные. Наиболее жидкие и способные к быстрому течению на большие расстояния – основные и ультраосновные лавы. Наиболее вязкие лавы – кислые. В зависимости от особенностей движения и характера застывания лавы, лавовые потоки имеют совершенно различный облик поверхности (рис. 3.10, А,Б,В), однако в глубине лавовых потоков, где застывание лавы происходит относительно медленно, могут формироваться специфические текстуры отдельности, особенно ярко проявляющиеся у базальтовых и андезитовых лав (рис 3.10, Г).

**Лава – магма, лишившаяся газообразных составляющих.**

Помимо газов и жидкой лавы, при извержениях (прежде всего, при взрывных извержениях) в атмосферу выбрасывается большое количество твердых частиц, представляющих собой как быстро застывающие фрагменты лавы (рис. 3.11), так и обломки пород, окружающих подводный магматический канал. В зависимости от размера твердых частиц их называют **вулканический пепел, песок, бомбы или обобщенно – пирокластический материал (пиро - огонь, кластос – обломок).**

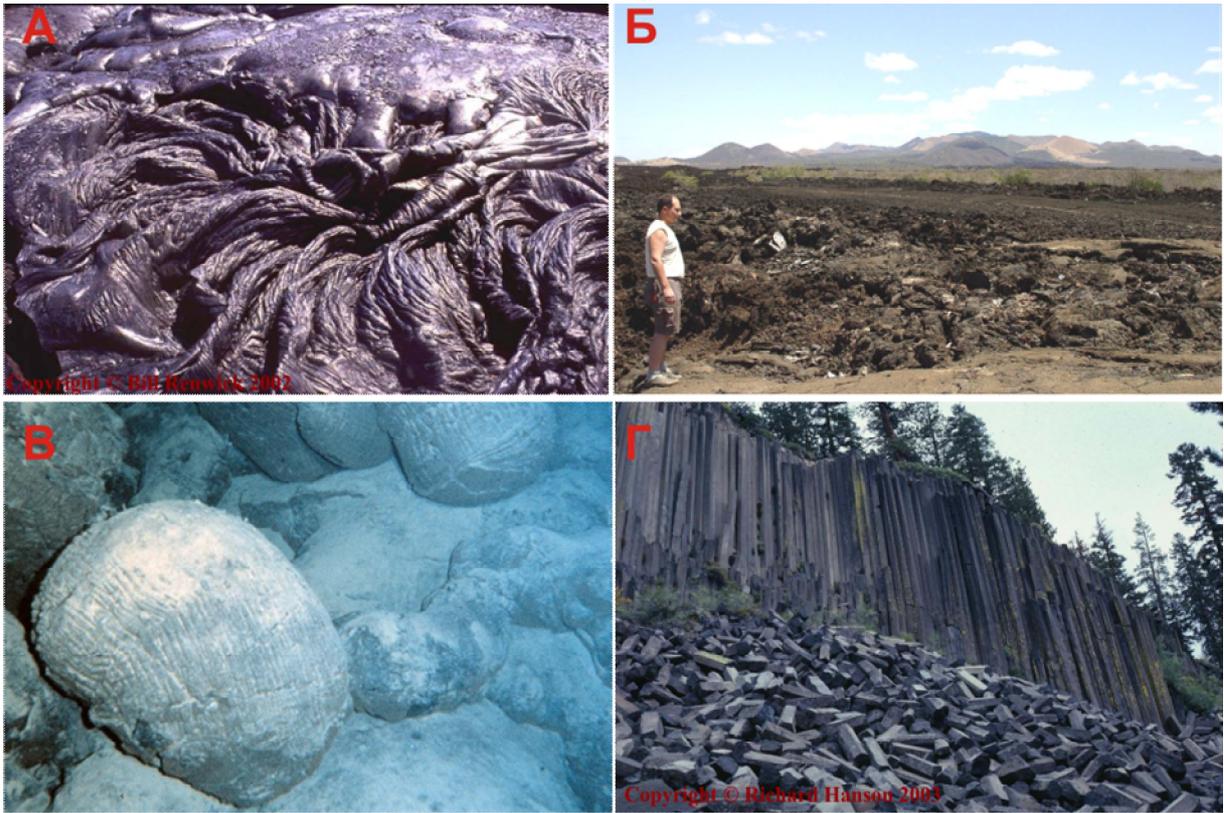


Рисунок 3.10. Различные типы лав (А, Б, В) и гексагональная форма отдельности внутри застывшего базальтового лавового потока (Г).

*А – канатная лава (пехуху), Гавайи, Б – аа-лава, Кения, В – подушечная лава подводных извержений (пиллоу-лава).*



Рисунок 3.11. Лавовый фонтан. Гавайи.

Поскольку вулканы подпитываются веществом мантии, они всегда приурочены к линиям тектонических разломов – ослабленным зонам земной коры, сквозь которые магма относительно легко может проникать к земной поверхности. Наиболее крупными тектоническими разломами являются границы литосферных плит. Поэтому, также как

гипоцентры землетрясений преимущественно приурочены к зонам субдукции, современные вулканы расположены вдоль границ литосферных плит.

По характеру извержений выделяют:

**Извержения центрального типа** (наиболее широко распространены: большая часть современных вулканов). Поступление магмы к поверхности происходит по одному подводящему каналу.

**Извержения трещинные** (Исландия, срединно-океанические хребты). Поступление магмы и излияние ее на поверхность происходит по крупным трещинам. Характерно для рифтовых зон.

Извержения площадные (плоскогорье Декан, Британская Колумбия). Поступление магмы к поверхности происходит по многочисленным подводящим каналам и трещинам, что обеспечивает одновременное излияние ее на поверхность Земли на огромных площадях. В настоящее время действующих площадных извержений не наблюдается.

Вулканы центрального типа имеют один подводящий канал или **жерло**, по которому из магматического очага магма поднимается к поверхности. Устьевая часть жерла, как правило, слегка расширенная, за счет периодической взрывной (эксплозивной) активности. Она называется **кратером**. (рис\_\_\_\_) Из кратера вулкана при извержениях изливается лава, выбрасывается пирокластический материал и газообразные продукты извержений. Продукты извержений преимущественно накапливаются вокруг кратера, формируя вулканическую постройку, высота которой постепенно растет.



Рисунок 3.12. Кратер вулкана Иразу. Коста-Рика.

Каждое извержение начинается с того, что магма пробивает себе проход на поверхность через горные породы, блокирующие устье подводящего канала. Это происходит посредством

постепенного роста давления в подводящем канале по мере нагнетания в него магмы из магматического очага. Когда давление достигает критического уровня, блокирующая устье канала «пробка» не выдерживает, и происходит взрыв. Эта стадия вулканического извержения носит название **эксплозивной (взрывной)**. Именно на этой стадии в атмосферу выбрасывается особенно большое количество пирокластического материала.

В дальнейшем, через освободившееся устье подводящего канала на поверхность начинает поступать преимущественно жидкая лава, изливающаяся в виде лавовых потоков. Это **эруптивная стадия**.

При уменьшении давления в подводящем канале, изливание лавы может приостановиться; лава будет застывать непосредственно в подводящем канале, блокируя его. В последствии, при возобновлении вулканической активности, магма опять будет вынуждена пробивать себе путь через эту «пробку», что приведет к новому вулканическому взрыву и выбросу очередной порции пирокластического материала. В результате, вокруг вулкана формируется чехол вулканических отложений и горных пород, для которого характерно чередование слоев пирокластического материала (следы эксплозивных стадий) и слоев застывшей лавы (следы эруптивных стадий) – см рис 3.13.



Рисунок 3.13. Переслаивание пирокластического материала и застывшей лавы в подмытой морем стенке кальдеры на острове Десепшн, Ю. Шетландские острова.

В зависимости от химического состава и вязкости магмы, а также от преобладания тех или иных продуктов извержения формируются вулканические постройки разных типов

В случае, если извергается преимущественно жидкий материал, и преобладают текучие лавы базальтового состава, формируются щитовые вулканы, для которых характерна уплощенная форма. Диаметр таких вулканических построек может достигать десятков километров при высоте в сотни метров или первые километры (рис 3.14, А), а в их кратерах

могут образовываться лавовые озера (рис. 3.14, Б). Таковы, например, вулканы Гавайских островов.

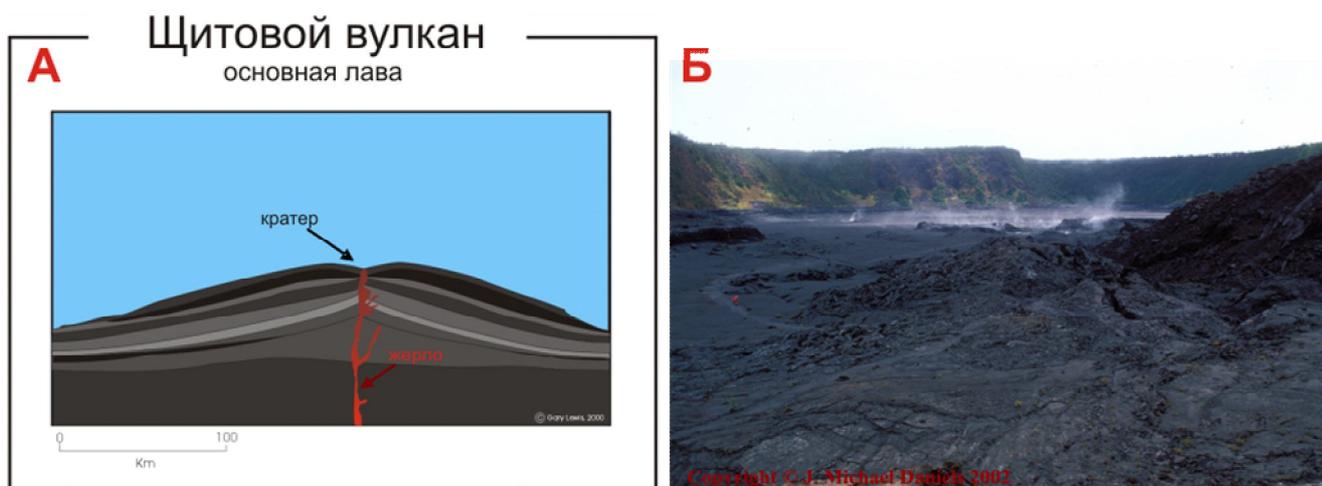


Рисунок 3.14. Строение щитового вулкана (А) и лавовое озеро в кратере Килауэа (Б).

В случае, если в продуктах извержения преобладает очень вязкая кислая лава, формируются относительно небольшие по диаметру и высоте экструзионные купола.

Шлаковые конусы формируются в случаях, когда извержения сопровождаются исключительно выбросами пирокластического материала.

Наиболее распространенными вулканическими постройками являются стратовулканы (от латинского «стратос» - слой), формирующиеся при чередовании выбросов пирокластического материала и лавовых потоков. Такие вулканы имеют характерное слоистое строение (рис. 3.15)



Рисунок 3.15. Строение стратовулкана.

В некоторых случаях, эксплозивные извержения могут достигать такой мощности, что полностью или частично уничтожают саму вулканическую постройку (рис. 3.16). В таком случае кратер вулкана резко расширяется, а иногда на месте вулкана образуется кальдера -

обширная котловина, ограниченная кольцеобразными в плане валами с крутыми внутренними и пологими внешними склонами, представляющими собой остатки существовавшего ранее вулкана. В случае возобновления вулканической активности, в днище кальдеры может формироваться новый вулканический конус – сомма.



Рисунок 3.16. Кальдера «Crater Lake», Орегон, США.

*Хорошо виден ограничивающий кальдеру кольцеобразный вал. Небольшой остров с конусообразной вершиной – сомма.*

Следует заметить, что на основании исторических данных и проводящихся в настоящее время наблюдений за вулканами, а также данных геологических исследований, все вулканы Земли разделены на три группы: действующие, спящие и потухшие.

**Действующие вулканы** – вулканы, извергавшиеся в историческое время

**Спящие вулканы** – не действующие вулканы, на которых извержения возможны.

**Потухшие** – не действующие вулканы, на которых извержения маловероятны.

### **Постмагматическая активность.**

После извержений, когда вулканическая активность прекращается навсегда, или вулкан переходит в состояние спящего, на вулкане и в его окрестностях продолжают происходить процессы, связанные с постепенным остыванием магматического очага и выделением из магмы флюидов – наиболее способных к перемещению в земной коре газообразных составляющих магмы. Флюиды, взаимодействуя с попадающей в верхние слои земной коры атмосферной водой, нагревая и испаряя ее способствуют образованию фумарол и гейзеров.

**Фумаролы** – источники горячих газов на склонах и в кратерах вулканов.

**Гейзеры** – источники, периодически выбрасывающие под большим давлением фонтаны горячей воды и водяного пара.