

Модуль №1. «Общая и историческая геология»

Тема №4. Эндогенные геологические процессы

Лекция №9.

Магматизм (интрузивный и эффузивный).

Типы магм.

Классификация магматических горных пород.

Формы залегания плутонических (интрузивных) горных пород.

Формы залегания вулканических (эффузивных) пород.

Доцент, канд.техн.наук – А.Ю. Белоносов

Тюмень, 2020

Магматизм (интрузивный и эффузивный).

Магматизм — это совокупность всех геологических процессов, движущей силой которых является магма и ее производные. Т.е. процесс возникновения в мантии и земной коре магматических расплавов, последующего их подъёма и затвердевания на разных глубинах или извержения на поверхности Земли. Магматизм является одним из главных факторов формирования земной коры. Выделяются следующие основные его этапы: зарождение, подъём и затвердевание.

Зарождение магмы. Магмы выплавляются в интервале глубин от 15 до 250 км при не большом плавлении вещества земной коры и мантии.

Выделяют 3 основных механизма зарождения магмы:

1. Нагрев выше температуры плавления глубинного вещества. Причиной эпизодического и локального нагрева, возможно, являются: радиоактивный распад U, Th, K и/или выделение тепла от трения при пластических деформациях.

2. Адиабатический подъём глубинного вещества до линии солидуса и выше.

3. Дегидратация гидроксил-содержащих минералов глубинного вещества.

Подъём и дифференциация магмы. В областях зарождения за счет меньшей плотности и вязкости расплав выжимается из связной системы межзерновых пор, наподобие того, как выжимается вода из рыхлого осадка на дне моря. Скопления относительно легкой жидкости обладают некоторым избыточным давлением и начинают пробивать путь наверх, самостоятельно раздвигая стенки ранее существовавших трещин.

Затвердевание. При затвердевании магматического расплава происходит полная или частичная кристаллизация вещества и образуются твердые тела магматических горных пород.

Магматизм (интрузивный и эффузивный).

Проявления магматизма. Выделяют 3 типа магматизма по месту его проявления:

1. Континентальный.
2. Крайне-континентальный.
3. Океанический.

В их составе выделяются разные, более локальные подтипы. Например: магматизм островодужный, рифтовый, плюмовый, горячих точек и некоторые другие.

По глубине проявления магматизм разделяется на 4 класса:

- ультраабиссальный (очень глубокий),
- абиссальный (глубокий),
- гипабиссальный (приповерхностный),
- поверхностный.

В зависимости от характера движения магмы и места ее застывания различают два типа магматизма: интрузивный и эффузивный. В первом случае магма остывает и кристаллизуется на глубине, в недрах Земли, во втором — на земной поверхности. Нередко извержения вулканов носят взрывной характер, при котором магма не изливается, а взрывается и на земную поверхность выпадают тонкораздробленные кристаллы и застывшие капельки и осколки стекла - быстро охлажденной расплава. Подобные извержения называются эксплозивными.

В современную геологическую эпоху магматизм особенно развит в пределах Тихоокеанского подвижного пояса, срединно-океанических хребтов, рифтовых зон Африки и Средиземноморья и др. С магматизмом связано образование большого количества разнообразных месторождений полезных ископаемых.

Типы магм.

Магма - это расплавленное вещество, которое образуется при определенных значениях давления и температуры и представляет собой флюидно-силикатный расплав, т.е. содержит в своем составе соединения с кремнеземом (SiO_2) и летучие вещества, присутствующие в виде газа (пузырьков), либо растворенные в расплаве.

Излившаяся магма, потерявшая большую часть летучих компонентов (таких как вода, углекислый газ, фтор, хлор и др.) — называется **лава**.

В магме содержатся практически все химические элементы, среди которых наиболее представлены Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Ti, Na, а также различные летучие компоненты (оксиды углерода, сероводород, водород, фтор, хлор, водяной пар и др.).



Условия, способствующие плавлению горной породы, превращению ее в магму и охлаждению магмы, с превращением ее в горную породу

Типы магм.

Классификации магм.

Магмы по химическому составу делятся на силикатные, карбонатные, фосфатные, сульфидные и т.д. Наиболее распространены в земных условиях силикатные магмы. Силикатные магмы состоят из соединений кислорода, Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, P и других элементов. При высоких давлениях в магмах может быть растворено значительное количество летучих компонентов, таких как вода, углекислый газ, фтор, хлор, соединения серы, углеводороды и др.

Силикатные магмы по аналогии с магматическими горными породами подразделяются по содержанию SiO₂ (масс.%) на: ультраосновные (< 45%), основные (45-52%), средние (52-65%), кислые (>65%).

По суммарному содержанию щелочей (Na₂O и K₂O) магмы подразделяются на: магмы нормального ряда, субщелочные и щелочные. Среди этих групп преобладают магмы нормального ряда основного (базальтовые магмы) и кислого (риолитовые или гранитные магмы) состава.

В 20-х годах текущего столетия советский ученый Ф. Ю. Левинсон-Лессинг высказал представление о существовании двух принципиально различных типов первичных магм — базальтовой и гранитной.

Типы магм.

Базальтовая (основная) магма, имеет большее распространение. В ней содержится около 50 % кремнезема, в значительном количестве присутствуют алюминий, кальций, железо и магний, в меньшем — натрий, калий, титан и фосфор.

По химическому составу базальтовые магмы и лавы существенно отличаются друг от друга. Различают **толеитовую базальтовую магму**, несколько перенасыщенную кремнеземом, и **щелочно-базальтовую (оливин-базальтовую) магму**, недонасыщенную кремнеземом, но обогащенную щелочами. Среди базальтовых магм в качестве разновидности выделяют **океаническую толеитовую магму** с очень высоким отношением Na к K; эта магма наиболее широко распространена на океаническом дне.

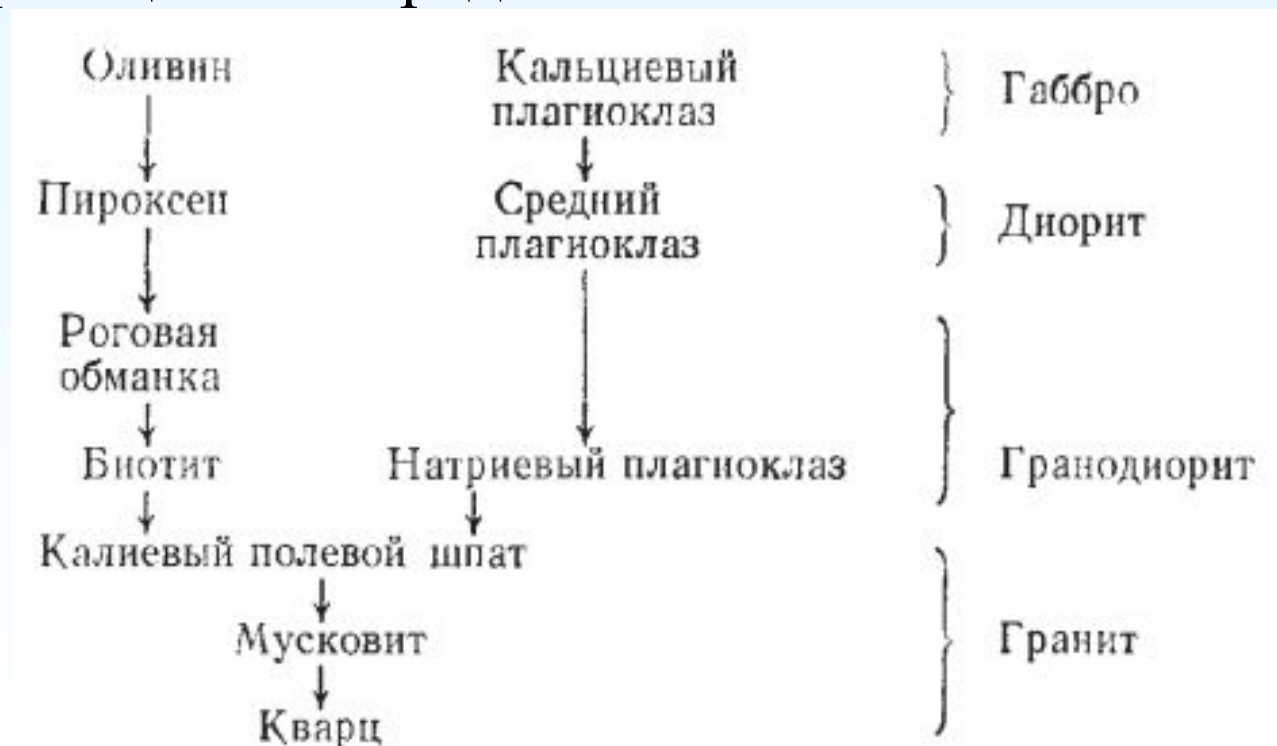
Предполагают, что базальтовые лавы формировались в основном в астеносферном слое верхней мантии, который залегает на глубинах от 7—10 км (в океанах) до 250 км (под континентами).

Гранитная (риолитовая, кислая) магма содержит 60—65 % кремнезема, она имеет меньшую плотность, более вязкая, менее подвижная, в большей степени чем базальтовая магма насыщена газами. Образование ее связывали с плавлением пород «гранитного» слоя коры.

Типы магм.

На химический и минеральный состав магмы большое влияние оказывают постмагматические процессы: реакции между кристаллами и жидкой магмой, дифференциация, ассимиляция и гибридизация.

Суть **реакционного принципа** следующая: из жидкой магмы, обогащенной магнием и железом, вначале кристаллизуется оливин. Жидкий остаток (рестит) при остывании реагирует с кристаллами оливина, образуя пироксен; при дальнейшей реакции с кристаллами пироксена получается роговая обманка; взаимодействие с роговой обманкой приводит к появлению биотита. Если эта система реакций не доходит до конца, то в ядрах более поздних кристаллов сохраняются остатки роговой обманки, пироксена или оливина. Другой реакционный ряд образуют полевые шпаты плагиоклазового ряда — от анортита до альбита. Таким образом, мы получим бинарный реакционный ряд.



Минералы, расположенные на одном уровне, имеют тенденцию кристаллизоваться одновременно, что приводит к характерным минеральным ассоциациям. После завершения процессов реакций и образования конечного продукта — кварца — остаточные пары воды и термальные растворы могут продолжать взаимодействовать с минералами, что приводит к появлению новых минералов (хлорит, цеолит, серпентин) и замещению ранее возникших пород с образованием пегматитовых даек, кварцевых жил, рудных тел.

Типы магм.

Дифференциация магмы — это совокупность процессов, приводящих к разделению единой массы на фракции, из которых формируются различные магматические породы. Дифференциация магмы проходит в результате, прежде всего, фракционной кристаллизации, гравитационного разделения, истечения газов и других процессов.

Кристаллизация магмы. Любой магматический расплав состоит из жидкости, газа и твёрдых кристаллов, которые стремятся к равновесному состоянию. В зависимости от изменения температуры, давления, состава газов и т.п. меняются расплав и образовавшиеся в нём ранее кристаллы минералов — одни растворяются, другие возникают вновь, и весь объём магмы непрерывно эволюционирует.

Гравитационное разделение (ликвация) заключается в рас-слоении магмы на две различные по плотности и составу несмешивающиеся жидкости. Причем вверху скапливаются легкие, летучие компоненты, обогащенные кремнеземом и щелочами.

Истечение газа проявляется в перемещении пузырьков газов вверх через магму и выносе захваченных кристаллов и интерстициальной (промежуточной) жидкости наверх.

Ассимиляция — это процесс полного усвоения и плавления магмой твердых пород, окружающих интрузию или попадающих в нее при движении обломков (ксенолитов). Растворение вмещающих пород меняет состав магмы.

В случае неполной переработки магмой вмещающих пород происходит процесс **гибридизации**. При этом внутри магматического тела остаются непереплавленные ксенолиты, а на соседних участках наблюдается **контаминация (загрязнение)** магмы чужеродными элементами. Образующиеся гибридные породы отличаются не характерными для данных магм минералами.

В результате таких процессов из ограниченного количества первичных материнских магм образуется широкий спектр магматических пород.

Классификация магматических горных пород.

Магматические горные породы наряду с метаморфическими составляют основную массу земной коры, однако на современной поверхности материков области их распространения сравнительно невелики. В земной коре они образуют тела разнообразной формы и размеров, состав и строение которых зависит от химического состава исходной магмы и условий ее застывания.

В основе классификации магматических горных пород лежит их *химический состав*. Учитывается прежде всего содержание оксида кремния, по которому магматические породы делятся на четыре группы:

- *ультраосновные* породы, содержащие менее 45 % SiO₂,
- *основные* - 45-52%,
- *средние* -52-65 %
- *кислые* - более 65 %.

В зависимости от условий, в которых происходило застывание магмы, магматические породы делятся на ряд групп:

- породы глубинные, или *интрузивные*, образовавшиеся при застывании магмы на глубине,
- породы излившиеся, или *эффузивные*, связанные с охлаждением магмы, излившейся на поверхность, т.е. лавы.

Ультраосновные породы (гипербазиты, или ультрамафиты) в строении земной коры играют незначительную роль, причем наиболее редки эффузивные аналоги этой группы (пикриты и коматииты). Все ультраосновные породы обладают большой плотностью (3,0-3,4), обусловленной их минеральным составом.

Классификация магматических горных пород.

Основные породы широко распространены в земной коре, особенно их эффузивные разновидности (базальты).

Габбро - глубинные интрузивные породы с полнокристаллической средне-и крупнозернистой структурой.

Базальты - черные или темно-серые вулканические породы. Базальты залегают в виде лавовых потоков и покровов, нередко достигающих значительной мощности и покрывающих большие пространства (десятки тысяч км²) как на континентах, так и на дне океанов.

Средние породы характеризуются большим содержанием светлых минералов, чем цветных, из которых наиболее типична роговая обманка. Такое соотношение минералов определяет общую светлую окраску породы, на фоне которой выделяются темно-окрашенные минералы.

Диориты - глубинные интрузивные породы, обладающие полнокристаллической структурой. Излившимися аналогами диоритов являются широко распространенные андезиты, обладающие обычно порфировой структурой.

Для всех *кислых пород* характерно наличие кварца. Кроме того, в значительных количествах присутствуют полевые шпаты - калиевые и кислые плагиоклазы.

Граниты - глубинные интрузивные породы, обладающие полнокристаллической, обычно среднезернистой, реже крупно- и мелкозернистой структурой. Породообразующие минералы - кварц (около 25-35 %), калиевые полевые шпаты (35-40 %) и кислые плагиоклазы (около 20-25 %), из цветных минералов - биотит, в некоторых разновидностях частично замещающийся мусковитом. Излившимся аналогом гранитов являются риолиты, аналогами гранодиоритов - дациты.

Формы залегания плутонических (интрузивных) горных пород.

Результатом интрузивного магматизма являются интрузивные породы, образовавшиеся на глубине и выведенные на поверхность в результате эрозионных процессов.

По механизму внедрения магматического расплава во вмещающие породы выделяют:

- собственно интрузивы; они образуются при внедрении раскаленного магматического расплава в окружающие (вмещающие) породы, далее происходит остывание и кристаллизация магмы (в природе чаще всего встречаются собственно интрузивы);
- протрузивы — интрузивные тела, которые внедряются во вмещающие породы в холодном состоянии, за счет инверсии плотностей, как при образовании диапировых куполов.

По глубине кристаллизации магматических расплавов выделяют **гипабиссальные** (полуглубинные) с глубиной кристаллизации в 1-4 км и **абиссальные** — с глубиной кристаллизации 4 и более километров.

За счет тектонических движений отдельные блоки земной коры, в которых заключены интрузивы, поднимаются. При эрозии (разрушении) этих блоков ранее залегающие на большой глубине интрузивные породы оказываются на поверхности и становятся доступны для изучения.

Формы залегания плутонических (интрузивных) горных пород.



ЭЛЕМЕНТЫ СТРОЕНИЯ ИНТРУЗИВНЫХ ТЕЛ

1. Собственно интрузивное тело, состоящее из раскристаллизованного относительно однородного магматического расплава.
2. Окружающие (вмещающие) породы, которые иногда называют **рамой** интрузива. Ими могут быть осадочные, метаморфические, вулканические, магматические породы.
3. Кровля или апикальная часть интрузива. Она может быть ровной и извилистой, содержащей как понижения (провисание), так и воздымания.
4. Боковые ответвления от интрузивного тела, называемые **апофизами** или *магматическими жилами*.

В самом интрузивном теле могут содержаться обломки пород рамы, захваченные расплавом при его движении. Такие обломки с сохранившимися элементами внутреннего строения называют **ксенолитами**

За счет плавления обломков пород рамы в интрузивном теле образуются скопления темноцветных минералов, называемые **шлирами**.

Формы залегания плутонических (интрузивных) горных пород.

Граница между рамой и самим интрузивным телом получила название контакта. Контакты бывают горячие (активные) и холодные (пассивные).

Первые образуются при внедрении раскаленного расплава в породы рамы с последующей его кристаллизацией. При горячем контакте расплав и породы рамы оказывают друг на друга воздействия. Магматический расплав — на вмещающие породы тепловое и химическое, а вмещающие породы — охлаждающее воздействие на магматический расплав.



Горячий контакт состоит из **эндоконтактовой** и **экзоконтактовой** зон. Первая зона — это краевая часть интрузивного тела, вторая — полоса пород рамы, примыкающая к интрузивному телу.

Формы залегания плутонических (интрузивных) горных пород.

Магматический расплав оказывает в свою очередь тепловое и химическое воздействия на окружающие породы рамы образуя экзоконтактовую зону.

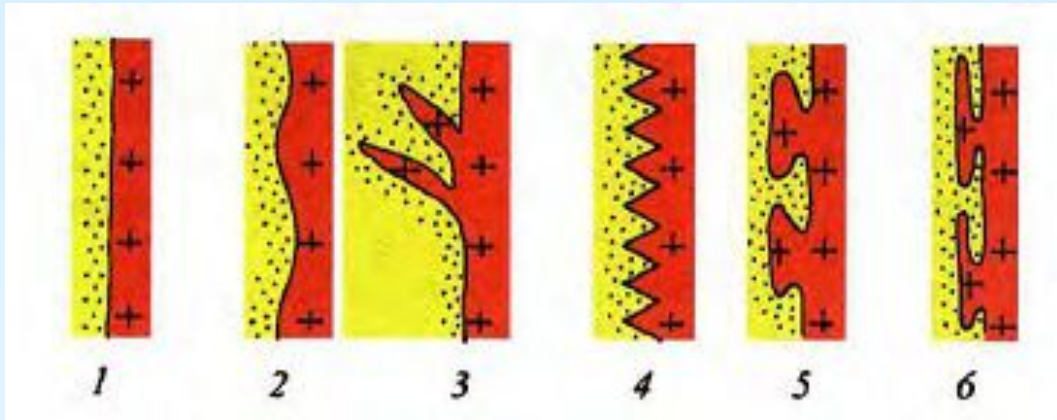
Температурное воздействие выражается в перекристаллизации минералов, их спекании и увеличении размеров. Вследствие чего по глинистым породам образуются роговики, по кварцевым пескам — кварциты, по известнякам — мраморы и т. д. Если на окружающие породы воздействуют еще и гидротермальные (минерализованные горячие) растворы, то происходит взаимодействие (обмен веществом между растворами и породами рамы). Это приводит к тому, что изменяется химический и минеральный состав вмещающих пород, они часто приобретают даже иной внешний облик. Так, на контакте известняков и интрузий гранитного состава образуются скарны, породы, состоящие из пироксена, плагиоклаза, кальцита, эпидота, граната, рудных минералов.

Степень изменения вмещающей породы зависит от первоначальной неравновесности породы и гидротермальных растворов.

Таким образом, экзоконтактовая зона представляет собой полосу измененных пород рамы находящихся в контакте с интрузивным телом. Мощность зон экзоконтактовых изменений может колебаться от сантиметров до нескольких километров.

Формы залегания плутонических (интрузивных) горных пород.

По морфологии контакты бывают: ровными, волнистыми, глыбовыми, зазубренными, апофизными, послойно-инъекционными.

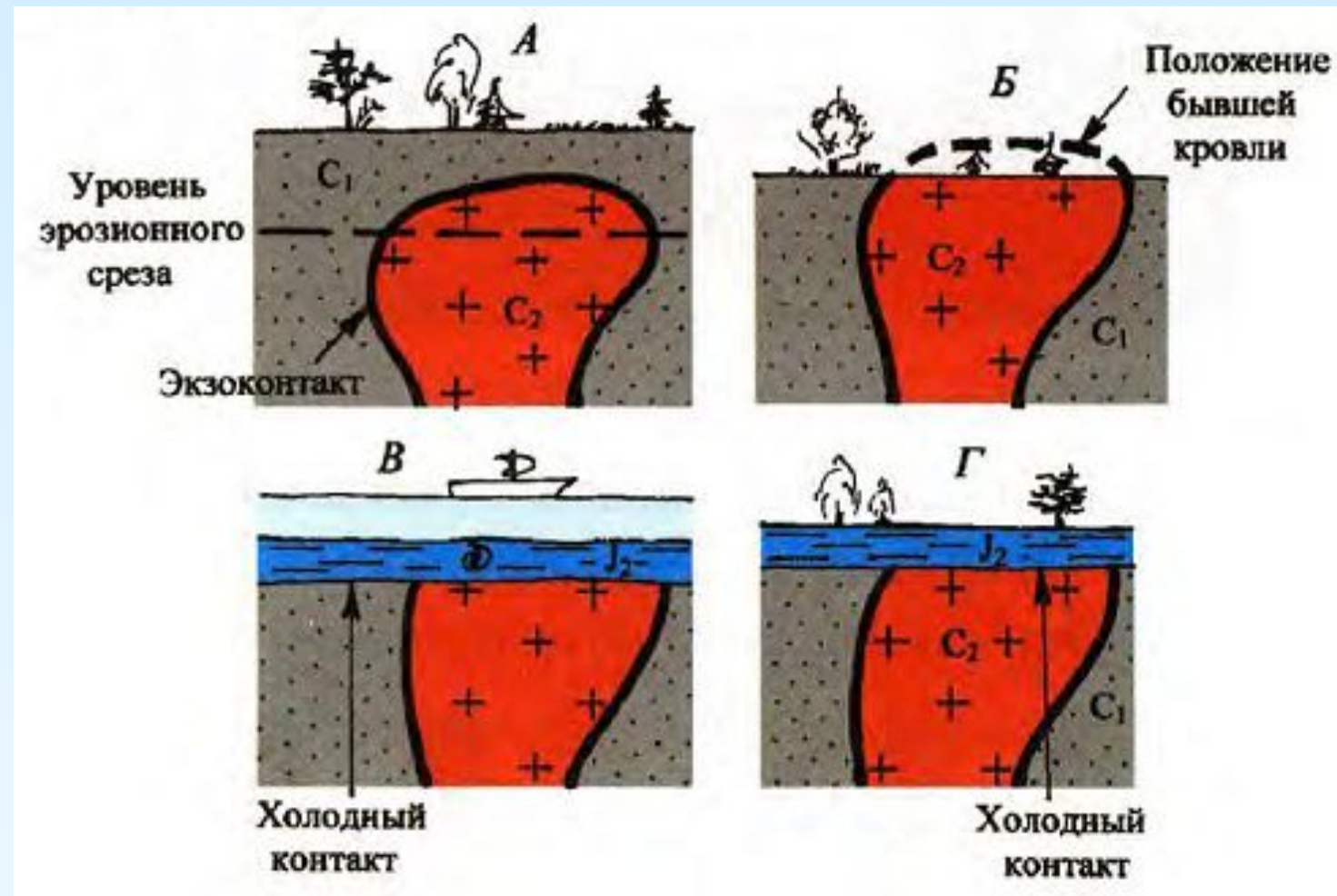


1 — ровные; 2 — волнистые; 3 — апофизные; 4 — зазубренные; 5 — глыбовые;
6 — послойно-инъекционные

Горячие контакты образуются в том случае, когда магматический расплав внедряется в уже существующие породы. Таким образом, вмещающие породы по возрасту будут древнее, чем магматические.

При **холодном контакте** нет никаких изменений ни во вмещающих породах, ни в самом интрузивном теле, т. е. нет ни эндоконтактовой, ни экзоконтактовой зон. Такой контакт возникает в том случае, когда окружающие породы были приведены в соприкосновение с магматическими образованиями уже после того, как магматический расплав раскристаллизовался и полностью остыл. Такая ситуация возникает тогда, когда интрузивное тело вместе с породами рамы, между которыми существует горячий контакт, испытывают общее воздымание. При этом образуются горные сооружения, в которых начинают преобладать процессы денудации, которые разрушают вышележащие породы и выводят магматические породы на поверхность. Интрузивные породы подвергаются эрозии. Если затем территория испытывает погружение и превращается в дно моря или океана, то на выветрелую поверхность интрузивных пород ложатся осадки, впоследствии превращающиеся в осадочные породы.

Формы залегания плутонических (интрузивных) горных пород.



Образование холодного контакта между интрузивным телом и вмещающими породами:

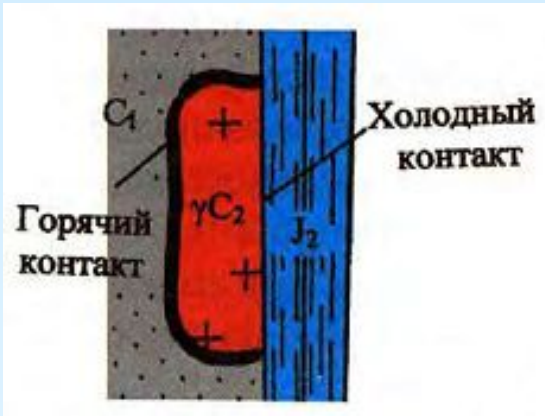
А — образования интрузивного тела и его подъем с породами рамы;

Б — уничтожение эрозионными процессами кровли интрузивного массива и выход интрузивного тела на поверхность;

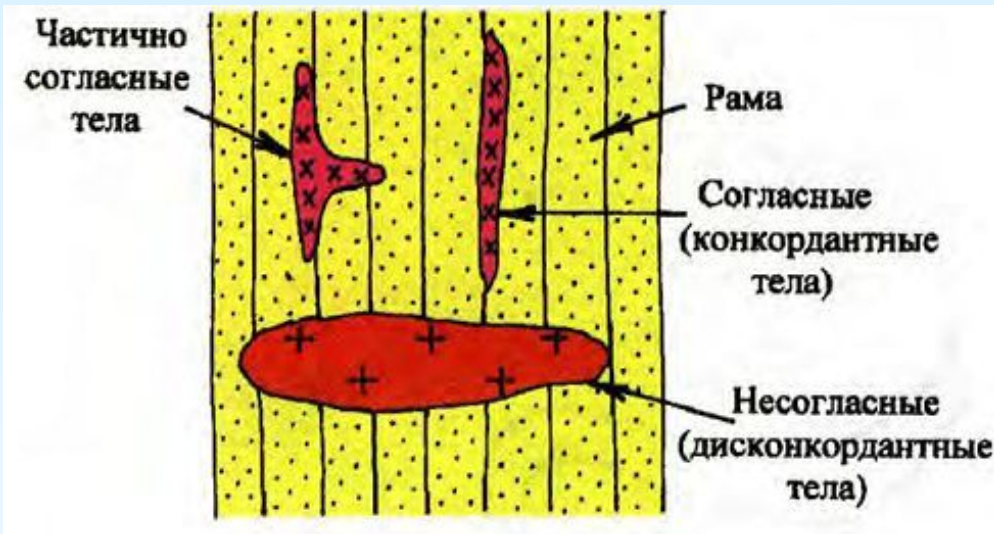
В — формирование на породах интрузивного тела осадков на дне водоема, образовавшегося при опускании территории;

Г — холодный контакт между интрузивным телом среднекаменноугольного возраста и отложениями средней юры .

Формы залегания плутонических (интрузивных) горных пород.

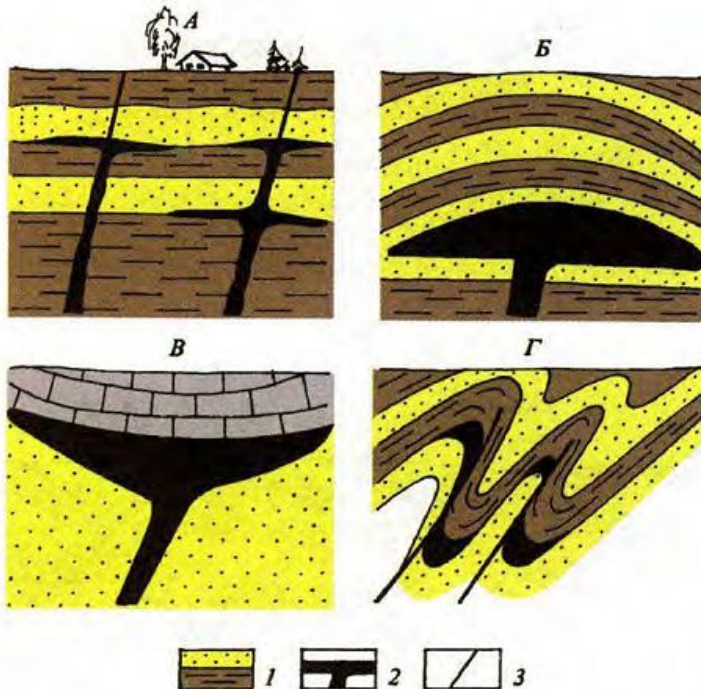


На геологических картах в случае горячего контакта границы интрузивного тела пересекают границы вмещающих пород.



Интрузивные тела по взаимоотношению с породами рамы делятся на три группы: *согласные* (конкордантные), *несогласные* (дисконкордантные), *частично согласные*.

Согласные интрузивные тела по морфологии и условиям залегания близки к вмещающим их породам. Среди согласных тел чаще всего встречаются следующие морфологические типы: силлы, лакколиты, лополиты, факолиты.



- А — силл;
- Б — лакколит;
- В — лополит;
- Г — факолит.
- 1 — породы рамы;
- 2 — интрузивное тело;
- 3 — разрывы

Формы залегания плутонических (интрузивных) горных пород.

Силлы — пластообразные тела, залегающие согласно с вмещающими породами. Кроме морфологии их отличительными особенностями являются:

а) большая площадь распространения (сотни квадратных километров);

б) небольшая мощность (десятки метров);

в) состав пород, как правило, основной, что обусловлено значительной текучестью магм основного состава, позволяющей им внедряться между отдельными слоями горных пород. (Это чаще всего габбро, долериты, габбро-нориты. Силлы кислого состава встречаются редко.)

Лакколиты — караваеобразные или грибообразные тела, чаще всего приуроченные к ядрам антиклинальных складок. К особенностям лакколитов следует отнести площадь их распространения (меньше силлов: десятки, значительно реже сотни квадратных километров), вертикальную мощность: составляет сотни метров.

Лополиты — блюдцеобразные тела, чаще всего приуроченные к синклинальным складкам. По своим параметрам они близки к лакколитами.

Факолиты — седловидные тела, приуроченные к замковым частям часто изоклинальных, опрокинутых складок. Часто бывают сложены породами основного состава.

Формы залегания плутонических (интрузивных) горных пород.

Несогласные (дискордантные) тела имеют секущие контакты с вмещающими породами



Батолиты — интрузивные тела площадью в сотни квадратных

километров. Условно принято в качестве батолитов выделять интрузивные тела площадью более 100 км². Для данных тел характерны следующие особенности:

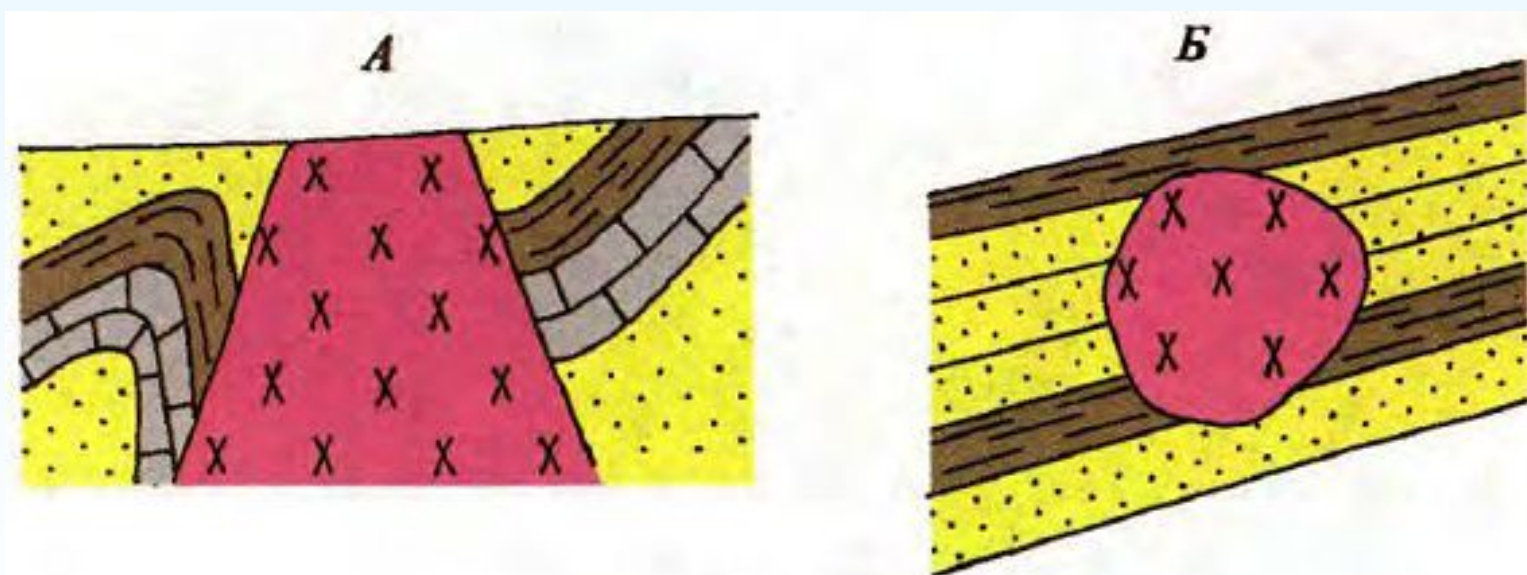
1. Большой объем интрузивного тела и большая площадь выхода на дневную поверхность. Встречаются батолиты-гиганты, у которых длина достигает 1500 км, а ширина 100-300 км.
2. Вертикальный размах батолита составляет 3-10 км. До недавнего времени рассматривали батолиты как бескорневые массивы, соединяющиеся с магматической камерой. Геофизические исследования показали, что у них есть нижняя ограничивающая поверхность.
3. Неоднородный петрографический состав. В состав батолита могут входить габбро, диориты, гранодиориты, граниты. Основной же объем батолитов чаще всего слагают гранитоиды (граниты, гранодиориты).
4. У батолитов неровная кровля, с частыми выступами и провисаниями. Чаще всего подобные интрузивные тела образуются при плавлении пород гранитно-метаморфического слоя.

Формы залегания плутонических (интрузивных) горных пород.

Ареал-плутоны представляют собой огромные по площади массивы гранитов и гранито-гнейсов, не имеющих определенных очертаний, с поперечными размерами в сотни километров. Они встречаются в фундаменте древних платформ среди архейских и раннепротерозойских метаморфических комплексов. Их внешние границы имеют извилистые очертания.

Ареал-плутоны формируются при неоднократно повторяющихся этапах интрузивной деятельности при активном участии процессов гранитизации метаморфических комплексов в условиях незначительных глубин и очень высоких температур.

Штоки — интрузивные тела, имеющие в плане изометричную или близкую к ней форму и площадь выхода на дневную поверхность менее 100 км². Для них характерны крутые контакты с вмещающими породами. Штоки чаще всего однородные по петрографическому составу.



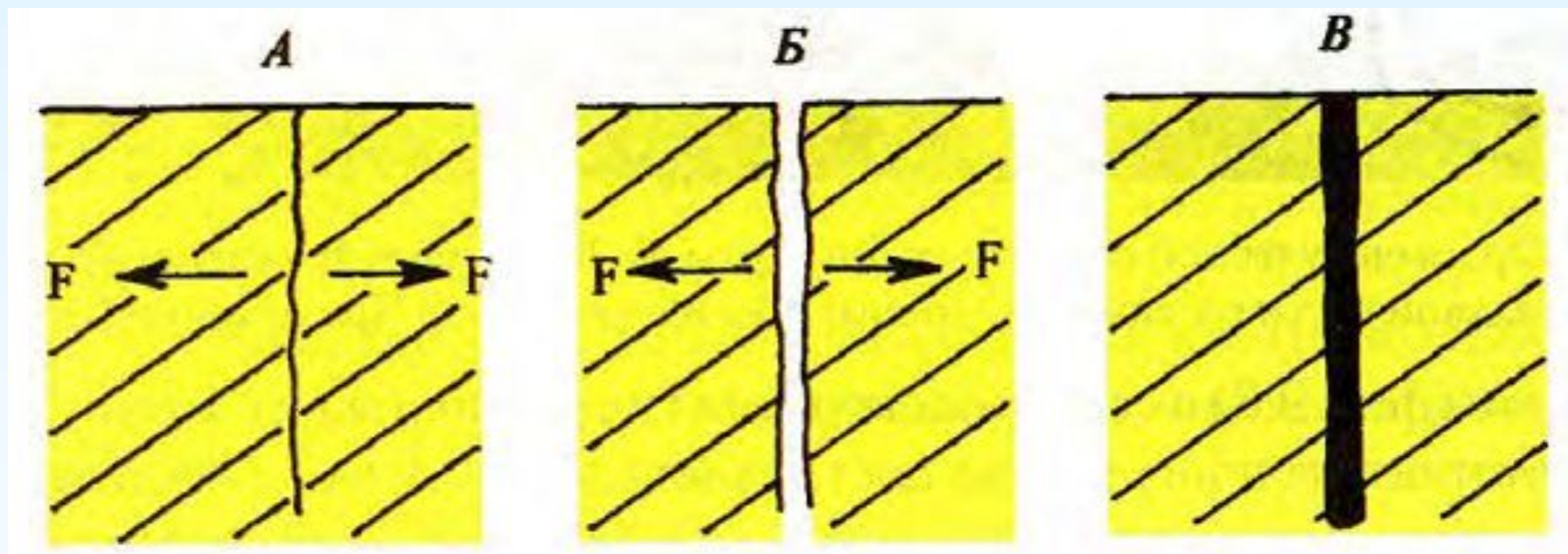
Шток:

А — в разрезе; Б — в плане

Формы залегания плутонических (интрузивных) горных пород.

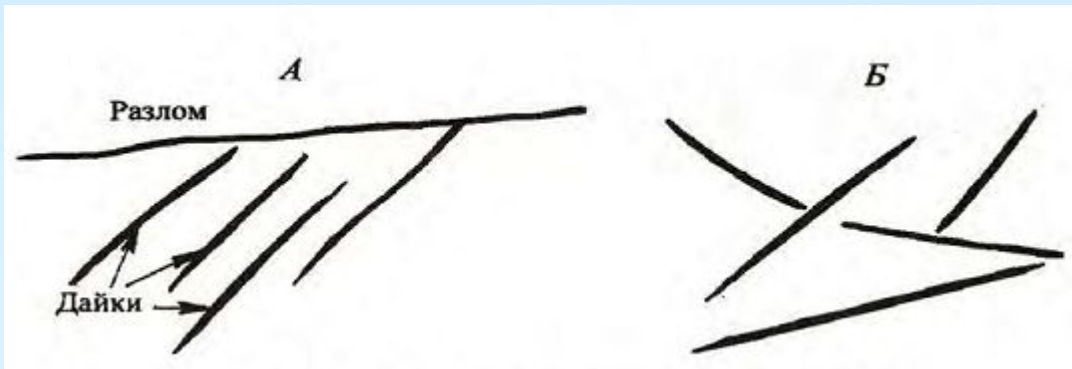
Дайки представляют собой плитообразные тела, имеющие большую протяженность при маленькой мощности. В большинстве своем они имеют в длину протяженность от десятков до сотен метров при мощности от десятков сантиметров до нескольких метров. Есть уникальные дайки, как, например, Великая дайка Зимбабве, протяженностью 800 км при ширине до 13 км.

Образование даек связано с трещинами отрыва, которые заполняются магматическим расплавом. Среди даек выделяют: простые и сложные, имеющие зональное строение. Состав зон последних может быть различным.



Механизм образования даек:
А — образование разрыва; Б — раздвиг по разрыву; В — заполнение полости, образовавшейся в результате раздвига магматическим расплавом

Формы залегания плутонических (интрузивных) горных пород.

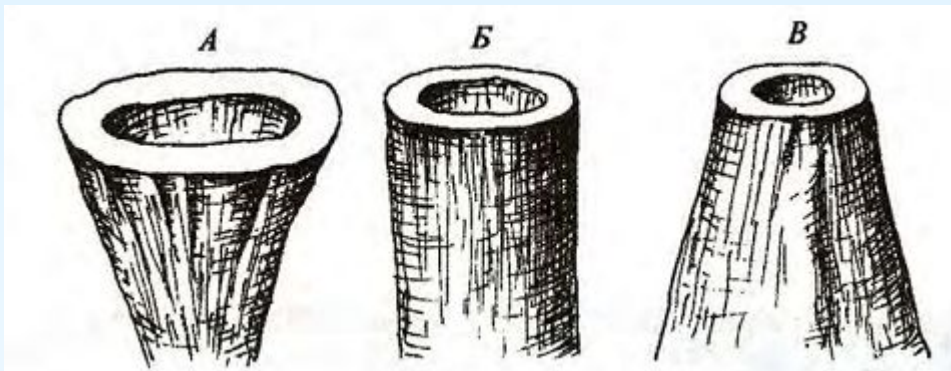


Дайковые пояса (А), рои даек (Б)

Дайки часто встречаются группами, образуя своеобразные сообщества.

Среди них в плане выделяют: **дайковые пояса** (сообщество даек, ориентированных в одном направлении, А); **рои даек** (группа даек, не выходящих за какой-то контур, Б).

По морфологии в разрезе выделяют кольцевые, цилиндрические и конические дайки



Дайки: кольцевые (А), цилиндрические (Б), конические (В)

Магматические жилы, которые по морфологии близки к дайкам, но отличаются от них более сложной формой (много апофиз и ответвлений). Жилы прослеживаются в длину на десятки метров



Магматические жилы: простые (А), ветвящиеся (Б)

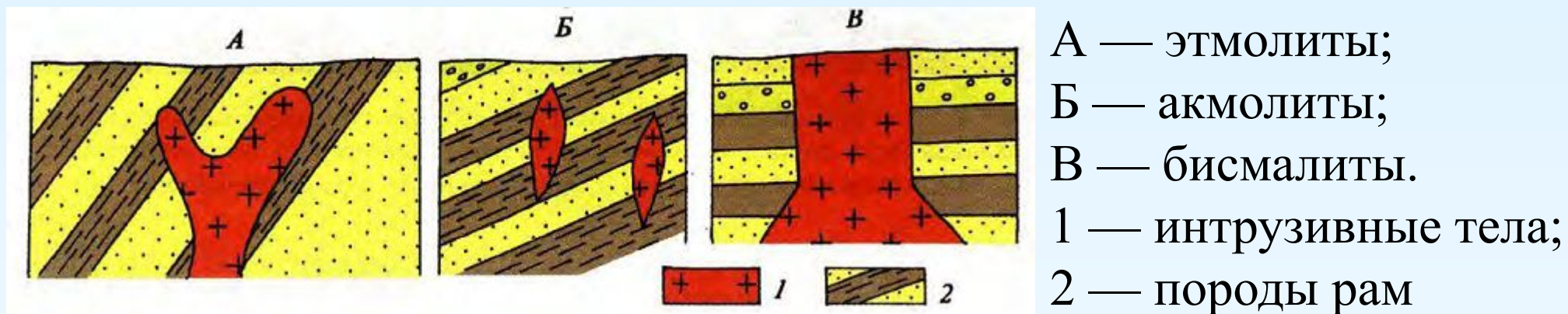
Формы залегания плутонических (интрузивных) горных пород.

К **несогласным интрузивным телам** относятся редко встречающиеся (экзотические) тела.

Этмолиты — тела неправильной формы, расширяющиеся кверху наподобие воронки. Они часто бывают сложены щелочными породами (А).

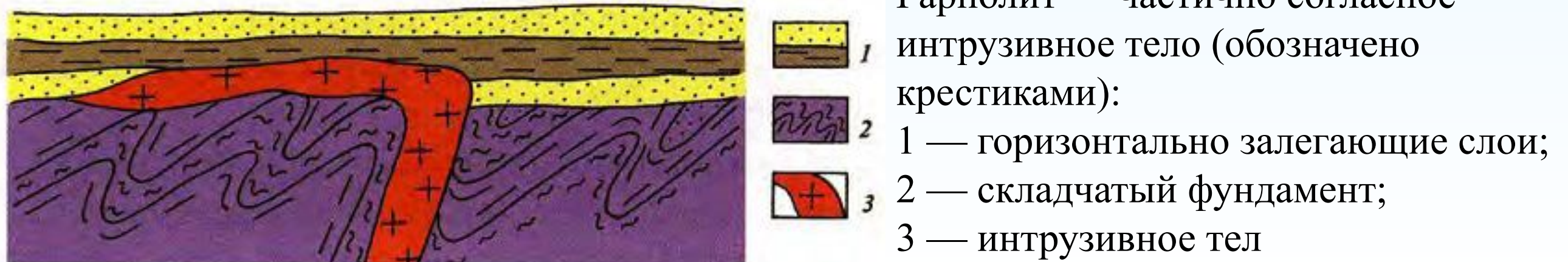
Акмолиты — по размерам они соответствуют штокам и имеют пламеобразную форму (Б).

Бисмалиты — тела, напоминающие по форме пробку (В).



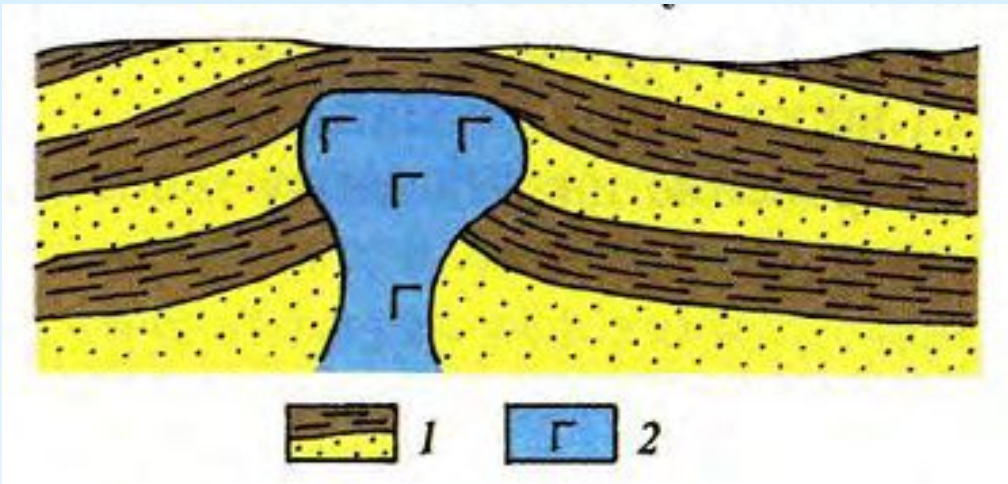
ЧАСТИЧНО СОГЛАСНЫЕ ТЕЛА

К частично согласным телам относятся **гарполиты**, которые в верхней части согласно залегают с вмещающими породами, а на нижних горизонтах рвут слоистость осадочных и полосчатость метаморфических пород



Формы залегания плутонических (интрузивных) горных пород.

К частично согласным телам относятся и магматические диапиры. Вверху они залегают согласно, а внизу — несогласно.



Частично согласное интрузивное тело:

1 — породы рамы; 2 -магматический диапир

НЕДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ И ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ ИНТРУЗИВНЫЕ ТЕЛА

Все интрузивные тела по особенностям внутреннего строения можно разделить на две группы:

- 1) недифференцированные;
- 2) дифференцированные.

Недифференцированные интрузивные тела однородны по составу и формируются за счет одной порции расплава. Они, как правило, небольшие по размерам. Это дайки, магматические жилы, небольшие силлы, лакколиты, лополиты.

Дифференцированные тела отличаются большими размерами, в их строении выделяются области и участки, отличающиеся друг от друга по составу, возрасту, условиям образования. Среди дифференцированных интрузивных тел выделяют многофазные тела и расслоенные.

Формы залегания плутонических (интрузивных) горных пород.

Многофазные интрузивные тела характеризуются тем, что они образуются в результате внедрения во вмещающие породы нескольких порций магматического расплава. Промежуток времени, в течение которого внедряется, остывает и кристаллизуется каждая порция, получил название фазы. В течение фазы формируется определенная часть интрузивного тела, а в течение нескольких фаз — тело целиком. Если интрузивное тело образовалось в течение одной фазы, говорят об однофазном интрузивном массиве, если в течение нескольких — о многофазном. Многофазными могут быть батолиты, гарполиты, крупные штоки.

Закономерности формирования многофазных интрузивных тел сформулированы В.С. Коптевым-Дворниковым.

1. Сначала внедряется наибольший объем расплава, он дает начало главной интрузивной фазе. Остывание из-за большого объема расплава протекает медленно, поэтому образуется равномерно-зернистая средне-крупнозернистая порода.

2. Последующие порции, выделяющиеся из остаточного расплава, значительно меньше по объему. Их остывание идет быстро, в результате чего образуются порфировидные или мелкозернистые породы.

3. По трещинам в породах как главной, так и второстепенной фазы образуется жильная серия (дайки, жилы, пегматиты).

4. Завершают формирование интрузивных тел пневматолитово-гидротермальные образования.

5. По составу породы ранних фаз имеют более основной состав, чем породы поздних фаз. Так, если породы первых фаз имеют средний состав (диориты), то более поздние фазы отвечают кислым породам (гранитам). Такая последовательность в формировании интрузивного тела называется гомодромной. Если в начале формируются кислые породы, а поздние фазы смещены в сторону основных пород, то такая последовательность называется антидромной.

Формы залегания плутонических (интрузивных) горных пород.

Расслоенные интрузивные массивы отличаются основным и ультраосновным составом. Это габбро, нориты, габбро-нориты, анортозиты. В плане это тела как изометричной, так и удлиненной формы. Расслоенные массивы могут иметь разный возрастной диапазон, от архея до кайнозоя. В разрезе расслоенных тел выделяют краевую и центральную серии.

Мощность центральной части расслоенных тел может достигать 8-10 км, мощность краевой серии измеряется несколькими сотнями метров.

По минеральному составу и их взаимоотношениям выделяют минералы-кумуляты (пироксены, оливин), которые выделились первыми из расплава и поэтому имеют ярко выраженные кристаллографические очертания (идиоморфны). Минералы, заполняющие пространства между кумулятами не имеют таких особенностей и получили название ксеноморфных.

Расслоенность интрузивных тел объясняется гравитационной дифференциацией, вследствие которой тяжелые ранние минералы оседают на дно магматической камеры. Они формируют наиболее основные и меланократовые (темные) части разрезов расслоенных массивов. Затем из остаточного расплава кристаллизуются другие минералы, более кислого состава, светлые. Они ложатся на ранее выделившиеся основные минералы. Так формируются дифференцированные части разрезов.

Формы залегания плутонических (интрузивных) горных пород.

ПРОТОТЕКТОНИКА ИНТРУЗИВНЫХ ТЕЛ

Под **прототектоникой** понимают элементы строения интрузивного тела (линейность, полосчатость, трещиноватость) образовавшиеся при остывании и кристаллизации магматического расплава. Выделяют прототектонику жидкой и твердой фаз.

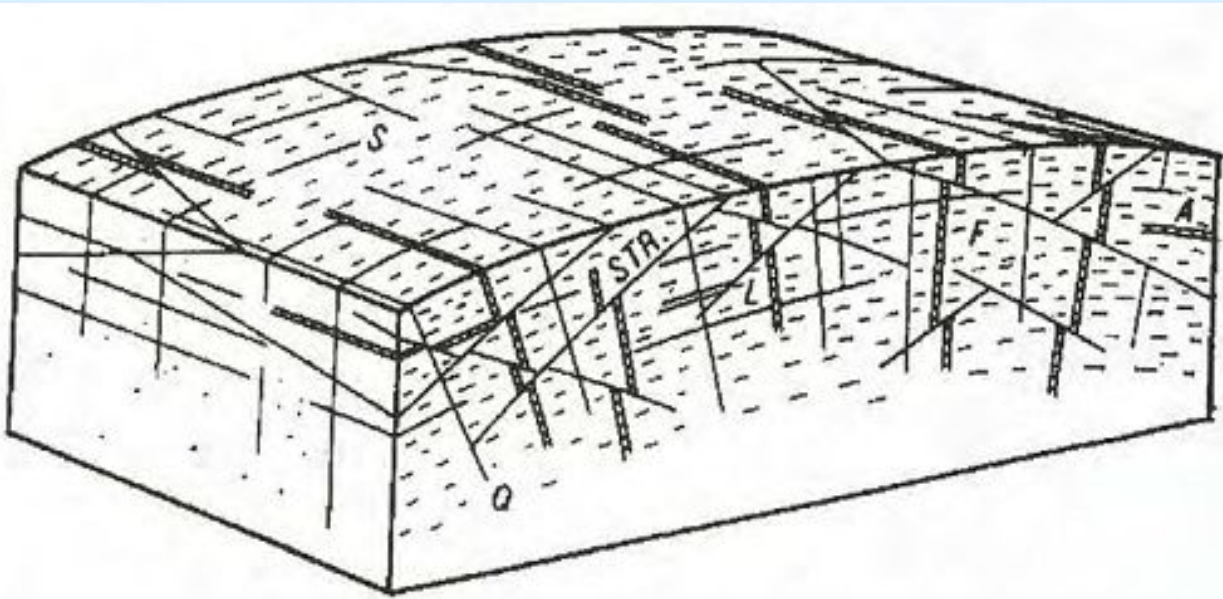
Элементы прототектоники жидкой фазы образуются на стадии кристаллизации магматического расплава. Последний кристаллизуется не мгновенно, а постепенно. В начале из расплава кристаллизуются наиболее тугоплавкие минералы, которые находятся в остаточном расплаве и движутся вместе с ним. При течении расплава линейные, призматические минералы ориентируются по направлению основного движения. Таблитчатые минералы располагаются параллельно контактам интрузивного тела.

Таким образом, элементы прототектоники жидкой фазы выражаются в закономерном расположении минералов в интрузивном теле. Линейные минералы расположены по направлению течения расплава, а пластинчатые — параллельно контактам интрузивного тела.

По элементам прототектоники жидкой фазы можно восстановить положение контактов интрузивного тела, местонахождение корневых зон интрузивного тела.

Формы залегания плутонических (интрузивных) горных пород.

ПРОТОТЕКТОНИКА ИНТРУЗИВНЫХ ТЕЛ



Прототектоника твердой фазы — трещины в теле интрузивного массива (по Г. Клоосу): Q — поперечные, S - продольные, L - трещины отдельности вдоль пологих поверхностей, STR — диагональные. Прототектоника жидкой фазы: F — линейные структурные элементы в теле массива; A — дайка аплитов

Элементы прототектоники твердой фазы — трещины, образующиеся при остывании и раскристаллизации магмы. При охлаждении, как и все твердые тела, интрузивное тело уменьшается в объеме. Это уменьшение сопровождается образованием систем трещин.

Выделяют трещины следующих разновидностей.

Крутопадающие: поперечные — Q, продольные — S, диагональные — STR.

Пологопадающие — L. Эти трещины параллельны кровле интрузивного массива.

Трещины часто бывают залечены дайками и различными гидротермальными жилами и могут содержать такие полезные ископаемые, как олово, вольфрам, молибден и др.

Формы залегания вулканических (эффузивных) пород.

Под **вулканической (эффузивной) деятельностью** понимают совокупность геологических процессов, связанных с зарождением, движением и выходом на поверхность магматических расплавов. В результате такой деятельности образуются вулканы, в строении которых выделяют магмаподводящий канал и постройку над ним.

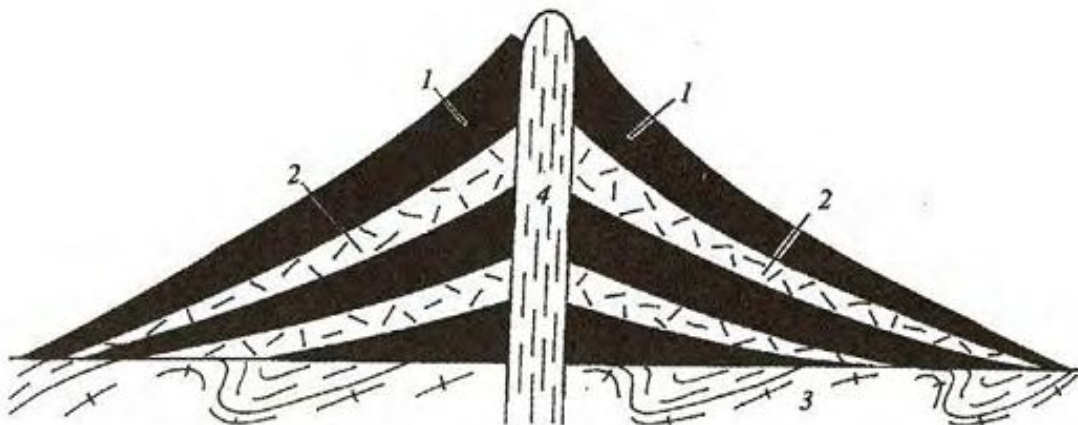
КЛАССИФИКАЦИЯ ВУЛКАНОВ ПО ТИПУ ПОСТРОЙКИ И ХАРАКТЕРУ ИЗВЕРЖЕНИЯ

По характеру магмаподводящего канала выделяют следующие типы вулканических построек.

Вулканы центрального типа.

У построек этого типа магмаподводящий канал имеет цилиндрическую форму и, как правило, образуется на пересечении разрывных нарушений разных направлений. Среди вулканов центрального типа выделяют несколько разновидностей.

Стратовулканы. Для них характерна постройка конусообразного типа, в разрезе которой чередуются лавовые и пепловые потоки с прослоями осадочного материала. Поскольку в разрезах вулканических построек чередуются покровы и потоки разного состава, пласты туфов, лахаровых брекчий, агломератов, то такие постройки называют стратифицированными, а сами вулканы — стратовулканами.

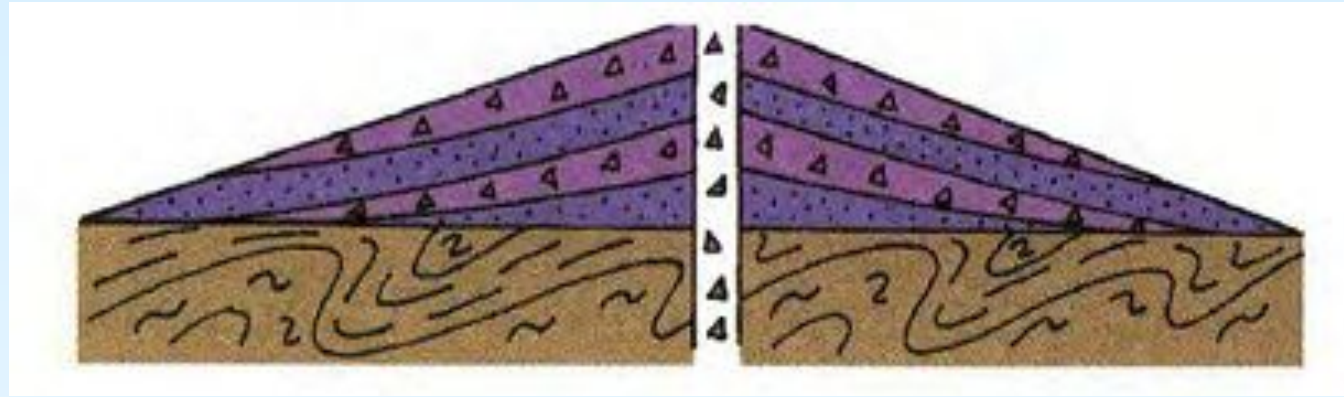


Стратовулкан, в разрезе которого выделяются следующие элементы строения:

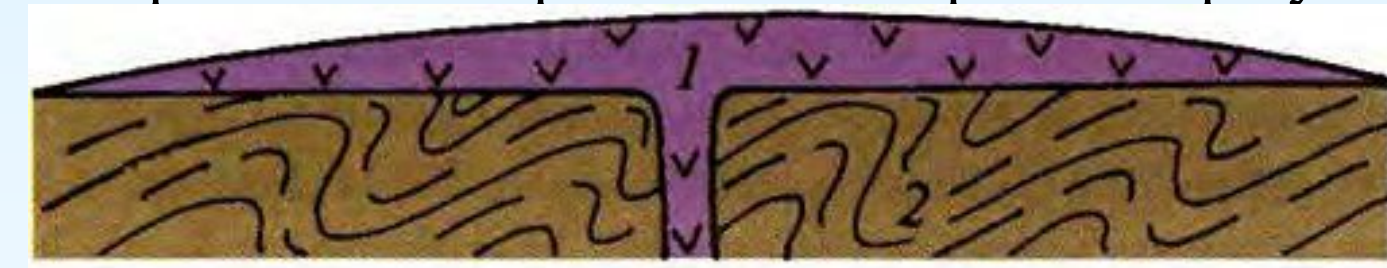
- 1 — лавовые покровы;
- 2 — пирокластические (вулканогенно-обломочные) покровы;
- 3 — фундамент постройки;
- 4 — магмаподводящий канал

Формы залегания вулканических (эффузивных) пород.

Шлаковые конусы — невысокие пологие конусы, сложенные пирокластическим материалом (пепловые, агломератовые и др. туфы и туффиты).



Щитовые вулканы, имеющие в разрезе форму линз (щитов), расположенных выпуклой поверхностью вверх. Такие постройки образуются лавовыми покровами основного состава.

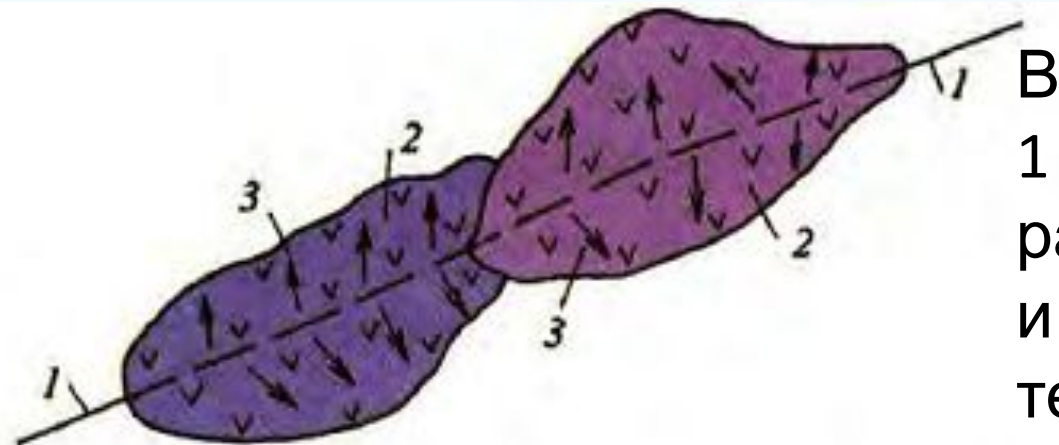


Щитовой вулкан в разрезе:

1 — лавовый покров; 2 — фундамент вулканической постройки

Вулканы трещинного типа.

Магмаподводящими каналами таких вулканов являются крупные разрывные нарушения, иногда глубинного заложения. В разное время участки протяженных (сотни и тысячи километров) разломов приоткрываются, и на поверхность устремляются лавовые



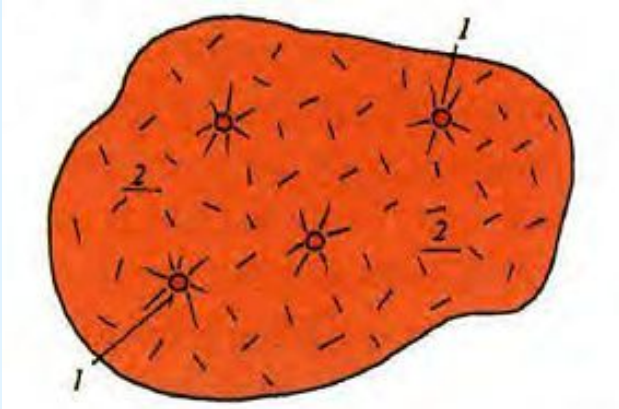
Вулкан трещинного типа:

1 — магмаподводящий разлом; 2 — лавовые покровы и потоки; 3 — направления течения магматических расплавов

Формы залегания вулканических (эффузивных) пород.

Вулканы ареального типа.

Представляют собой серии мелких вулканических построек, сложенных преимущественно лавами базальтового состава.



Вулканы ареального типа:

1 — единичные мелкие вулканические постройки;

2 — лавовое поле, сформированное единичными вулканами

По характеру извержения вулканы делятся следующим образом.

1. **Эффузивные**, когда изливания лав, преимущественно основного состава, происходят спокойно, без сильных взрывов и катаклизмов. Такой характер обусловлен тем, что растворенные в магме газы покидают жидкий расплав основного состава без особых затруднений. В вулканических постройках этого типа присутствует преимущественно лавовый материал.

2. **Эксплозивные (взрывные)**, характер извержения которых обусловлен подъемом вязких магм среднего и кислого составов. Растворенные газы покидают такой расплав с трудом, только когда их давление способно разорвать на куски вязкий магматический расплав. Подобные извержения сопровождаются сильнейшими взрывами, в результате которых лава поднимается вверх в виде капель, сгустков, кусков. Остывая эти куски и брызги лавы образуют твердый пирокластический материал, который преобладает в разрезах вулканических построек данного типа.

Формы залегания вулканических (эффузивных) пород.

3. **Смешанный тип вулканов** отличается переходным характером извержения от эффузивного к эксплозивному. Взрывы сменяются периодами спокойного излияния лавы.

4. **Экструзивные вулканы** характеризуются выжиманием на поверхность из жерла вязкого материала, который имеет форму обелисков или экструзивных куполов.

Продуктами вулканической деятельности являются лавы и вулканокластический материал.

1. **Лавы** — застывший и частично раскристаллизованный алюмосиликатный расплав, лишенный летучих компонентов. По физико-механическим свойствам выделяют два типа лав: **пахоэ-хоэлавы** и **аа-лавы**. Они отличаются между собой по температуре и содержанию газов. Пахоэ-хоэ лавы текучие, у них выше температура, они преимущественно основного состава. Аа-лавы — глыбовые, с более низкой температурой, для них характерен кислый состав.

Пиллоулавы — лавы основного состава, излившиеся на дно океана. При медленном поступлении расплава лава выдавливается, образуя шары, которые отрываются от дна и могут перемещаться. Будучи еще внутри пластичными, они оседают, при этом нижняя часть образования вдавливается. Размер шаров достигает 30 см в диаметре. При больших размерах они уплощаются и превращаются в подушки и даже матрацы до 2 метров длиной. Промежутки между шарами, подушками и матрацами заполняются как обломками такого же состава, что и лава, так и осадочным материалом. Если лава поступает на дно океана быстро и в большом количестве, то образуются обычные массивные лавы.

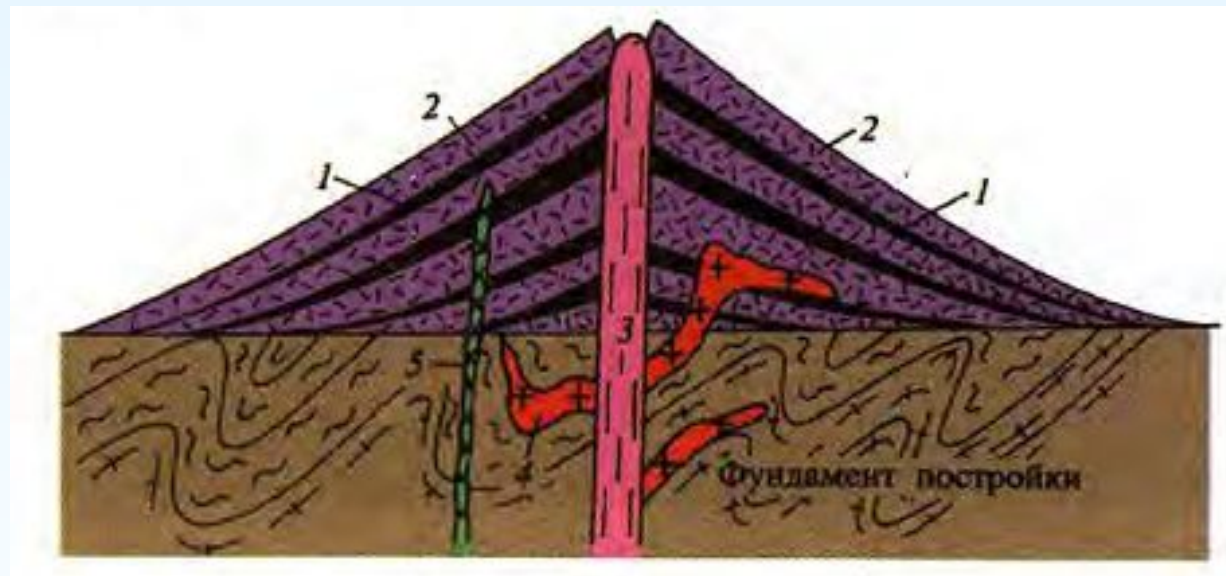
2. **Вулканокластический материал** представляет собой обломки эффузивного или пирокластического состава, рыхлые или сцементированные лавой, а также спекшиеся. В его составе может присутствовать осадочный материал в объеме не более 50 %.

Формы залегания вулканических (эффузивных) пород.

Пирокластический материал образуется из обломков, выброшенных в раскаленном состоянии во время извержений. Он может быть рыхлым, уплотненным, спекшимся.

Рыхлый пирокластический материал называют **тефрой**, сцементированный — **туфами**, спекшийся — **игнимбритами**. Для игнимбритов характерна флюидалность (следы течения расплава), что сближает их с лавами. Также для них характерны и различного рода обломки, что делает их ближе к пирокластическим материалам. Особенностью игнимбритов является наличие обломков — **фьямме**, что в переводе означает «языки пламени». Состав фьямме — риолиты и дациты.

По условиям образования вулканические породы делятся на три группы (фации): **собственно-эффузивную (поверхностную), жерловую, субвулканическую.**



Вулканические фации:

собственно эффузивная (поверхностная): 1 — лавовые покровы и потоки,

2 — пирокластические покровы и потоки,

3 — жерловая;

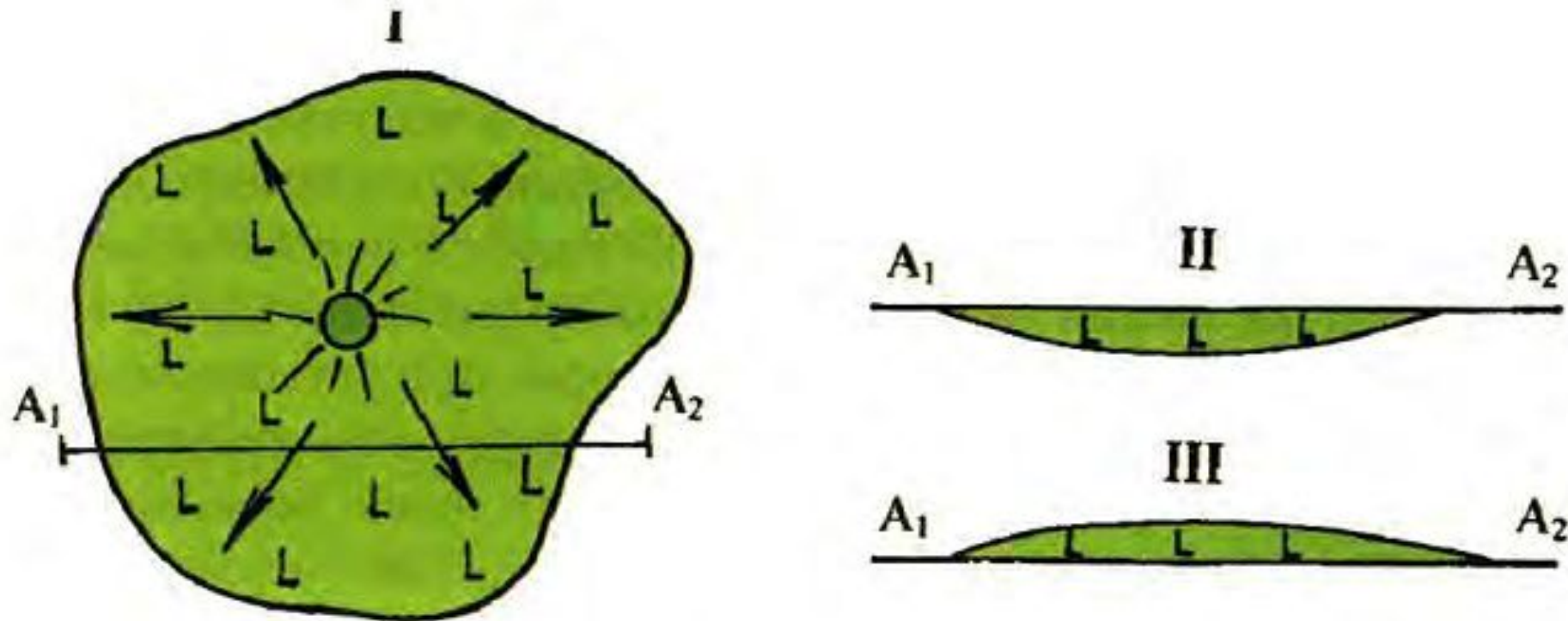
субвулканическая: 4 — субвулканические интрузии, 5 — дайки

Формы залегания вулканических (эффузивных) пород.

УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ ПОРОД СОБСТВЕННО-ЭФФУЗИВНОЙ (ПОВЕРХНОСТНОЙ) ФАЦИИ

Породы этой фации образуются при остывании расплава, а также путем осаждения пирокластического материала на поверхности суши или на дне океана. Породы этой фации образуют следующие тела.

Лавовые покровы. Они характеризуются большими площадями распространения, в плане имеют близкую к изометричной форму. В разрезах это линзообразные тела, обращенные выпуклостью вверх или вниз. Мощность покровов может достигать многих десятков, а иногда и сотен метров. Покровы бывают лавовые, пирокластические, игнимбритовые.

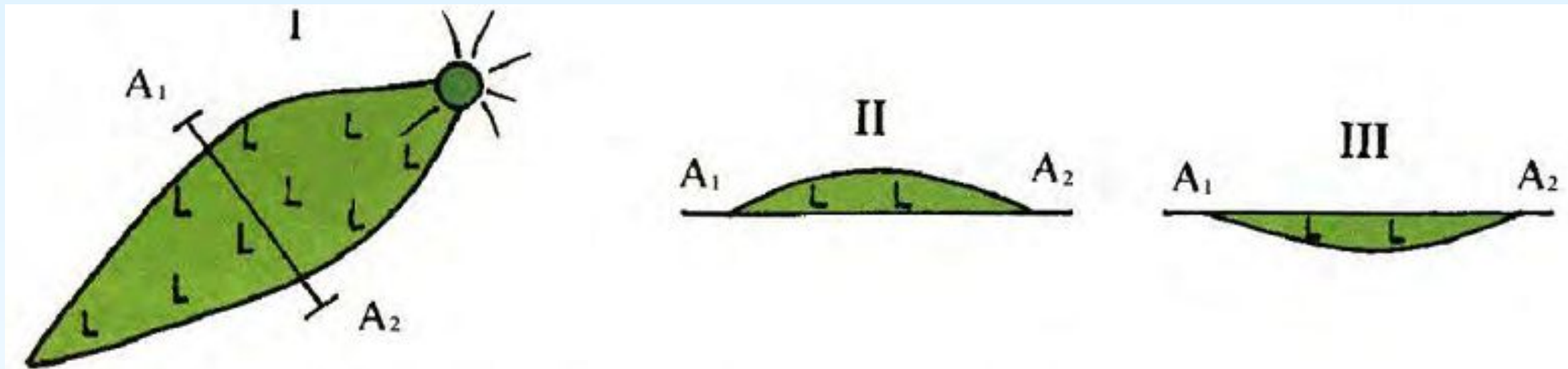


Лавовые покровы:

I — в плане; II, III — в разрезе

Формы залегания вулканических (эффузивных) пород.

Лавовые потоки. Они представляют собой линзообразные в плане тела лавового состава. Один край линзы примыкает к вулканическому жерлу (прижерловая часть), а другая — по радиусу удалена от жерла (удаленная часть). Образование потоков обусловлено рядом причин. Для их формирования решающее значение имеют направление вулканического извержения и рельеф вулканической постройки. Потоки образуются при направленном выбросе пирокластического материала или боковом прорыве лавы. Они наследуют понижения в рельефе.



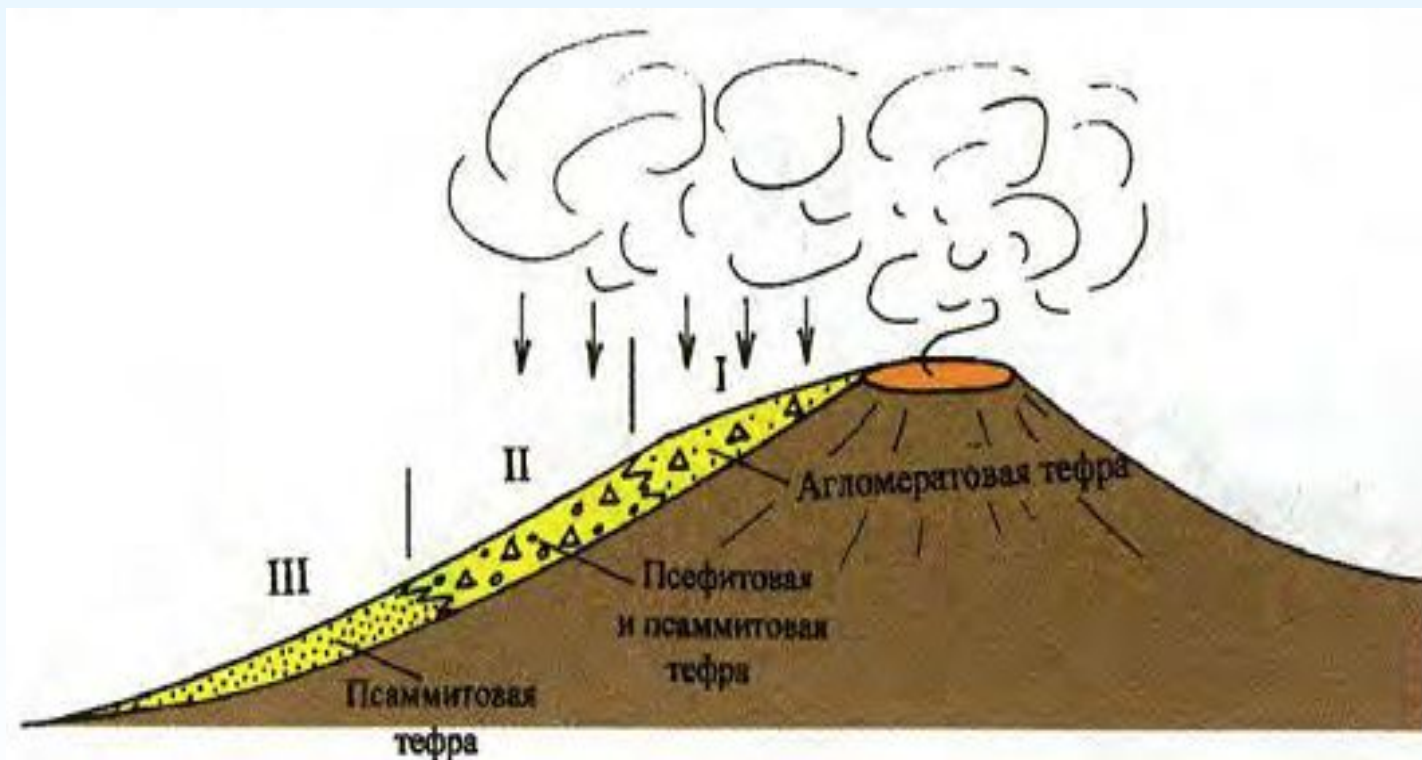
Лавовые потоки: I — в плане; II, III
— в разрезе

При вулканизме магма разделяется на лаву (расплав) и газы, некогда растворенные в магме. Нередко часть газов остается в лавовом потоке или покрове, образуя там большие резервуары. После затвердевания лавы полости остаются, но вулканические газы по трещинам покидают их. Поэтому нередко в лавовых потоках и покровах наблюдаются **тоннели и колодцы.**

Формы залегания вулканических (эффузивных) пород.

Пирокластические потоки и покровы. Пирокластические породы состоят из обломков разного размера. Все обломки данных пород делятся на **ювенильные** (обломки лавы) и **резугентные** (обломки фундамента, вулканической постройки). Если обломочный материал не спаян, то порода называется **тефрой**, если порода твердая сцементированная, то это **туф**. Тефра и туфы различаются по размеру обломочного материала.

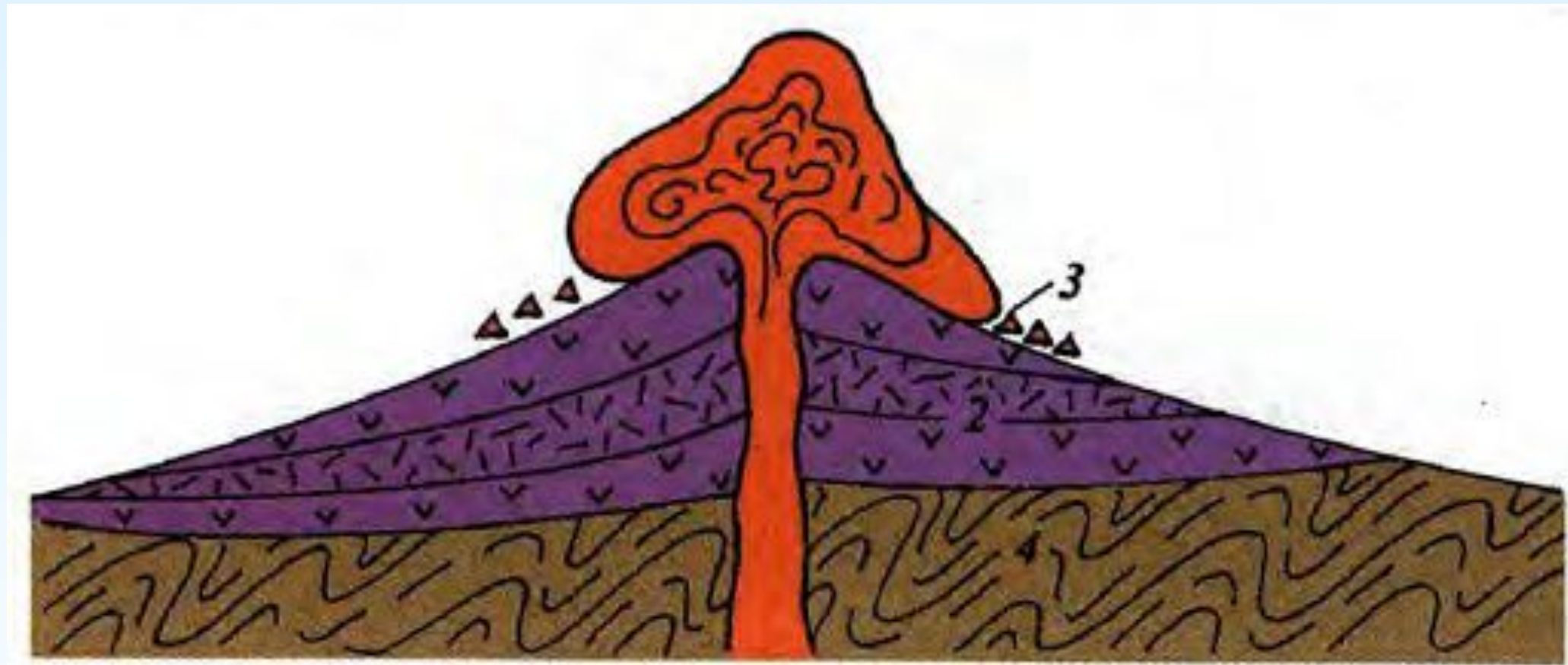
Пирокластические потоки имеют латеральную зональность, которая обусловлена способностью палящих туч переносить обломки разного размера на разное расстояние от жерла вулкана. В самой близкой к жерлу вулкана зоне (прижерловой) находятся агломератовая тефра и туфы, средняя зона сложена псефитовой и псаммитовой тефрой и туфами, удаленная зона представлена псаммитовой тефрой и туфами.



Зональность пирокластических потоков:
I — прижерловая зона агломератовых тефры и туфов;
II — средняя зона псефитовых и псаммитовых тефры и туфов; I
III — удаленная зона псаммитовых тефры и туфов

Формы залегания вулканических (эффузивных) пород.

Экструзивные купола. Они образуются при выдавливании вязких порций кислого расплава на дневную поверхность. В куполах часто наблюдается флюидалность, обусловленная течением вязкого расплава. У подножия таких образований за счет процессов физического выветривания образуются купольные брекчии. Экструзивные купола, обелиски и др. образуются в вулканах с риолитовым составом магматических расплавов.



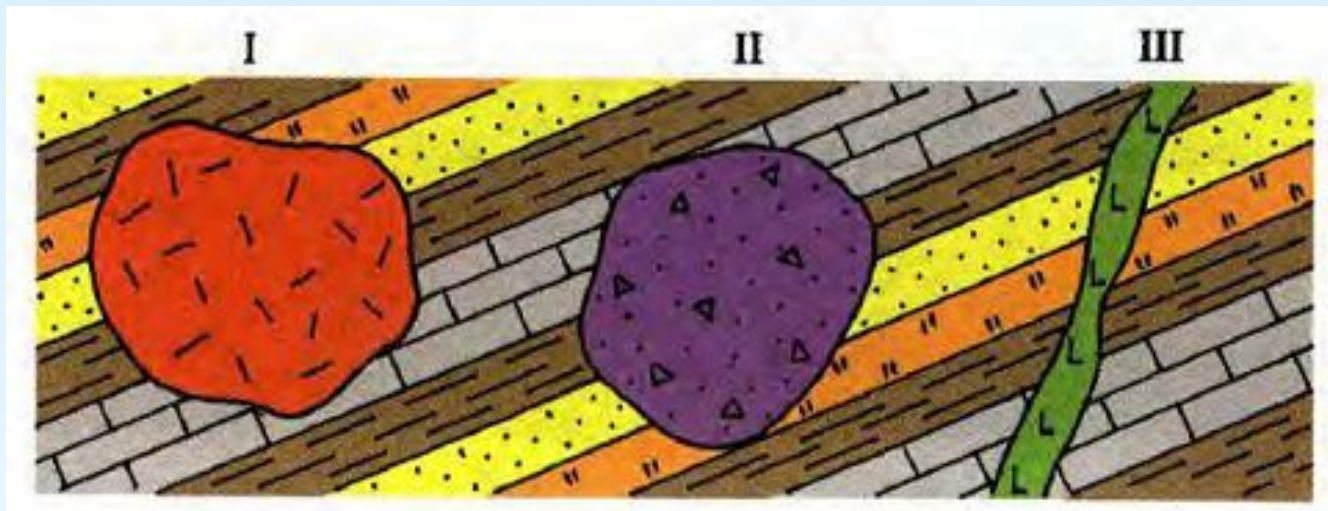
Экструзивная фация:

- 1 — экструзивный купол;
- 2 — стратифицированная вулканическая постройка;
- 3 — купольные брекчии;
- 4 — фундамент вулканической постройки

Формы залегания вулканических (эффузивных) пород.

ЖЕРЛОВАЯ ФАЦИЯ

Породы данной фации представляют собой лавы, пирокластику (эруптивные брекчии), застывшие в магмаподводящем канале. В зависимости от формы магмаподводящего канала образуются тела различной конфигурации.



Тела жерловой фации:

I — **некки**; II — **трубки взрыва**; III — **дайки**

Если магмаподводящий канал имеет цилиндрическую форму, как это имеет место для вулканов центрального типа, то образуются **некки**. Они в плане имеют изометричную или близкую к ней форму. В разрезе это цилиндрические тела.

Если вулканы трещинного типа, то магмаподводящий канал представляет собой трещину. В результате ее заполнения магматическим расплавом образуются **дайки** — плитообразные тела.

В качестве особой формы пород жерловой фации можно выделить **трубки взрыва**, сложенные грубообломочной эруптивной брекчией. Они сужаются на глубине и переходят в дайкообразные тела. Примером могут являться кимберлитовые трубки Якутии.

Формы залегания вулканических (эффузивных) пород.

СУБВУЛКАНИЧЕСКАЯ ФАЦИЯ

К субвулканической фации относятся тела, которые в момент образования не выходили на поверхность. Такие тела могут как находиться в породах фундамента на небольшой глубине (десятки, несколько сотен метров), так и располагаться среди пород эффузивной фации в теле вулканической постройки. В морфологическом отношении породы субвулканической фации бывают представлены **силлами** (пластообразными телами), **лакколитами** (караваеобразными телами), **штоками**, **дайками**, **куполами**.

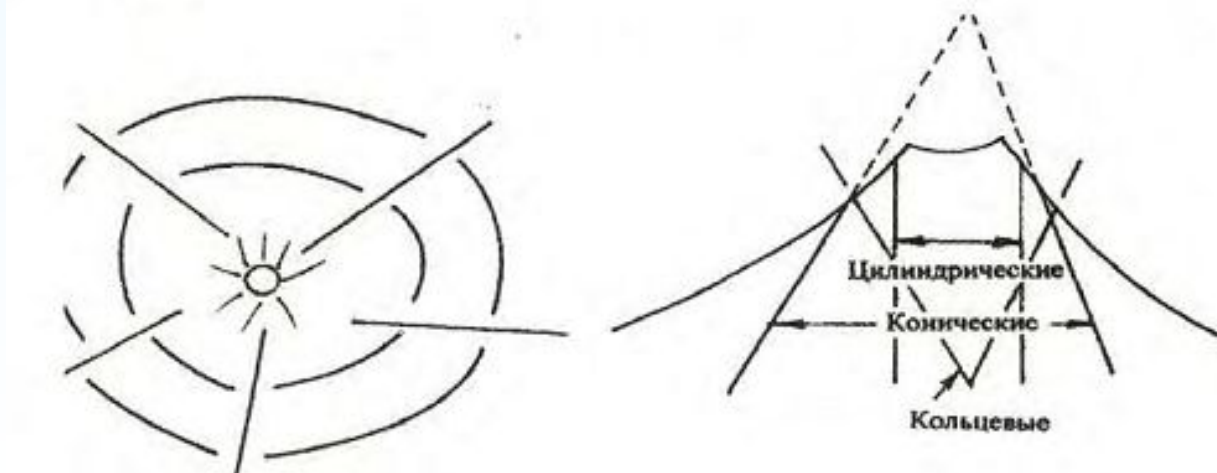


Морфология тел субвулканической фации:

1 — лакколиты; 2 — силлы; 3 — штоки;
4 — дайки

Дайки представляют особую группу магматических тел, генетически связанных с вулканами. Их особенность в том, что они имеют широкое развитие в пределах вулканической постройки и в ее ближайшем окружении. Относительно вулканической постройки они занимают различное положение.

В плане выделяют дайки **кольцевые и радиальные**. Первые повторяют контуры вулканических конусов, а вторые расположены по ее радиусу.



Дайки, связанные с вулканическими постройками в плане (слева) и в разрезе (справа)

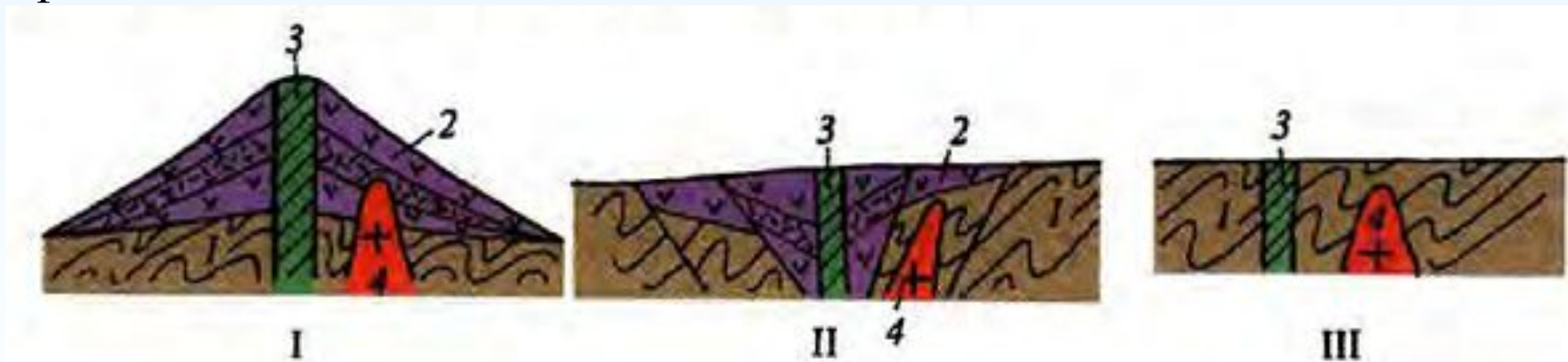
Формы залегания вулканических (эффузивных) пород.

В разрезе дайки делятся на цилиндрические, имеющие вертикальное положение, конические — образующие конус, ориентированный вершиной вверх, и кольцевые, образующие конус, ориентированный вершиной вниз.

Образование даек связано с возникновением приоткрытых трещин при землетрясениях и газовых взрывах, сопровождающих извержение вулканов. Кроме этого трещины, образуются вследствие проседания центральной части вулканической постройки над опустошенным магматическим резервуаром.

По степени сохранности вулканические постройки принято делить на:

- слабо эродированные, в которых сохранились положительные формы рельефа и представлены породы всех трех фаций (эффузивной, жерловой и субвулканической);
- умеренно эродированные, когда положительные формы рельефа не сохранились, но в разрезе постройки представлены все три фации вулканитов;
- глубоко эродированные, в этом случае сохраняются только породы субвулканической и жерловой фаций.



Вулканические постройки по степени сохранности: I — слабо эродированные; II — умеренно эродированные; III — глубоко эродированные. 1 — фундамент постройки; 2 — поверхностная фация; 3 — жерловая фация; 4 — субвулканическая фация

Формы залегания вулканических (эффузивных) пород.

НАРУШЕННЫЕ ФОРМЫ ЗАЛЕГАНИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД

К нарушенным формам залегания вулканических пород относятся:

- а) складчатые структуры;
- б) вулкано-тектонические структуры (депрессии).

Складчатые формы залегания могут иметь породы эффузивной фации, которые вместе с осадочными породами входят в состав стратифицированных образований. Под **стратифицированными образованиями** понимают геологические тела, которые можно разделить на отдельные слои, толщи, отличающиеся между собой по составу и возрасту. Лавовые и пирокластические покровы, чередуясь с осадочными образованиями, сминаются в складки. Породы жерловой и субвулканической фаций относятся к нестратифицированным образованиям, т. е. их нельзя разделить на отдельные слои, пачки, толщи, отличающиеся по составу и возрасту. Породы этих фаций не деформируются в складки.

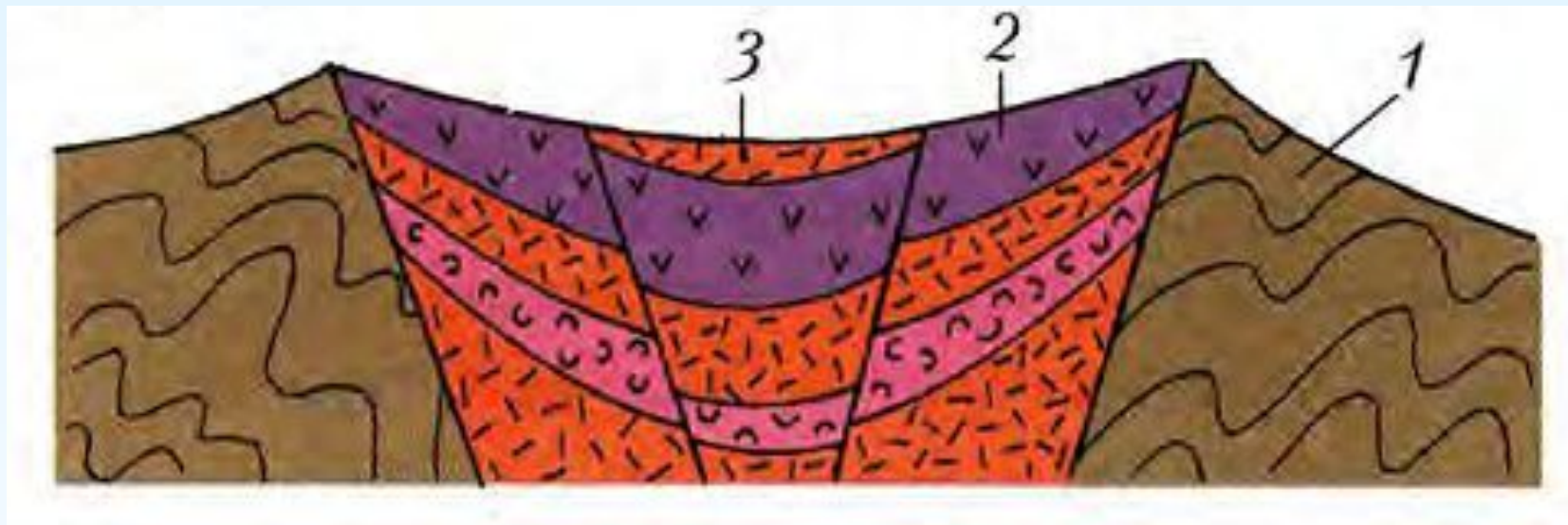
Вулкано-тектонические структуры образуются в результате движения отдельных частей вулканического конуса по разрывным нарушениям. Это опускание блоков, которое происходит из-за проседания тяжелой вулканической постройки над опустошенной магматической камерой. В результате этого центральная часть вулканического сооружения опускается, что приводит к образованию **кальдеры проседания**.

Кальдеры делят на вершинные, когда опускаются только верхние центральные части конуса и периферические характеризующиеся тем, что опускается весь аппарат по кольцевым и дугообразным разломам.

Формы залегания вулканических (эффузивных) пород.

Отличительной особенностью вулкано-тектонических структур является тот факт, что вулканические породы (лавовые и пирокластические покровы) падают по направлению к центру аппарата (центриклинальное залегание), в то время как при ненарушенном залегании потоки и покровы падают к его периферии (переклиналильное залегание).

Вулкано-тектонические структуры на геологических картах будут выглядеть как поля развития вулканических пород, приуроченные к положительным формам рельефа, если постройка слабо эродированная. При этом наблюдается система кольцевых разломов, «залеченных» дайками.



Вулканно-тектоническая структура, образовавшаяся в результате проседания ее центральной части по системе разломов.

Лавовые и пирокластические покровы наклонены к центру постройки:

- 1 — фундамент вулканической постройки;
- 2 — лавовые покровы;
- 3 — пирокластические покров