

Структурная геология и геологическое картирование

Лекция № 14

«Строение вулканических комплексов»

Лекция 1

Магматические комплексы возникают за счет глубинного вещества, находившегося в расплавленном состоянии, затем перемещенного или застывшего на месте плавления и представленного совокупностью геологических тел различной формы [*Петрографический кодекс, 1995*].

Магматический комплекс – совокупность геологических тел в определенном геологическом пространстве (структурно-формационной зоне), образованных ассоциацией магматитов одного класса глубинности и обладающих сходным, в общем случае – полифациально-полифазным строением и однотипными соотношениями с вмещающей средой [*Петрографический кодекс, 2008*].

Магматический комплекс как общий собирательный термин включает понятия "вулканический комплекс", "плутонический комплекс" и "гипабиссальный комплекс малых интрузий".

Плутонический комплекс – совокупность всех образований, сформировавшихся на одном этапе плутонической деятельности, включая тела магматических пород и метасоматические породы.

Вулканический комплекс – совокупность всех образований, сформировавшихся на одном этапе вулканической деятельности, включая породы излившиеся и застывшие на глубине, а также метасоматические породы.

ВВ! Часто в литературе **плутонические** комплексы называют **интрузивными**, противопоставляя их **вулканическим**. Это не совсем верно, точнее, совсем не верно, поскольку в этом случае магматические комплексы пытаются классифицировать и разделять по разным признакам:

- 1) **вулканические** – по характеру магматической деятельности,
- 2) **интрузивные** – по взаимоотношениям с вмещающими породами.

Кроме того, интрузивные образования, как мы увидим далее, присутствуют и в вулканических комплексах.

Вулкан (лат.), он же **Гефест** (греч.) – **Бог Огня**, сын Зевса и Геры. Кузнец, ремесленник, покровитель домов и пр.

Был ли Вулкан геологом – неизвестно.



**Питер Пауль Рубенс.
Кузница Вулкана**



Вулкан Вулкано



**Диего Веласкес.
В кузнице Вулкана**

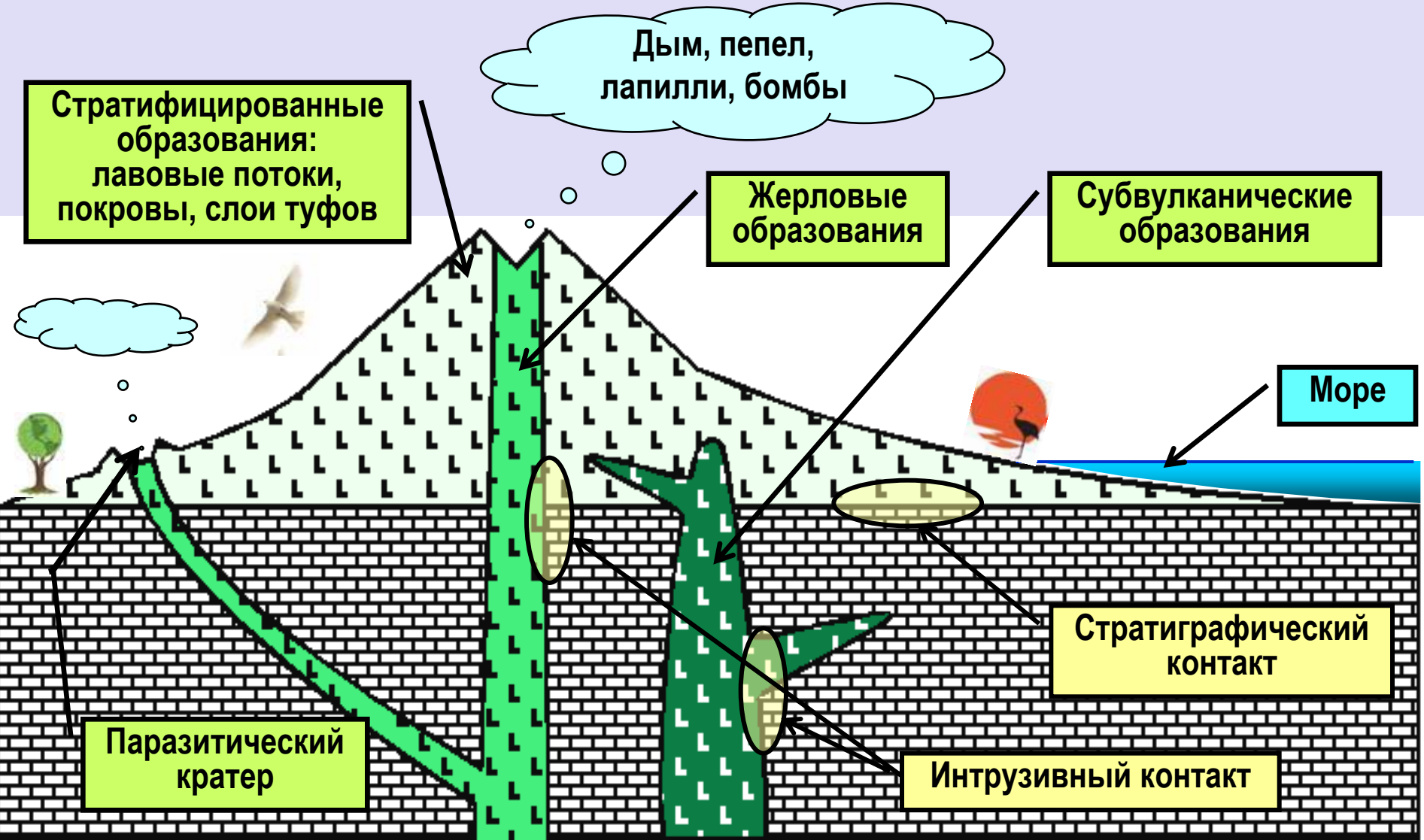
- **Вулканический комплекс 1** – конкретная ассоциация (парагенез) вулканических (эффузивных, вулканокластических, гипабиссальных) горных пород, слагающих геологические тела и их совокупности, располагающиеся в определенном геологическом пространстве, обычно в пределах структурно-формационной зоны. *Определение больше фактологическое.*
- **Вулканический комплекс 2** – закономерная ассоциация вулканогенных образований, которая обладает общими чертами состава, морфологии, строения и соотношения с вмещающей средой, указывающими на их образование в течение единого этапа эволюции вулканической деятельности в ограниченный отрезок времени. *Определение ближе к генетическому.*
- **Вулканическая фаза** – часть вулканического комплекса, отвечающая определенному этапу его формирования, образованная вулканическими породами устойчивого состава и отделенная от других, **последовательно образующихся** фаз комплекса четкими границами
- **Вулканическая фация** – часть вулканической фазы или комплекса в целом, характеризующаяся однородностью структурно-вещественных признаков и отличающаяся по этим признакам от других, **синхронно образующихся** фаций

[Все определения – Петрографический кодекс, 1995]



Строение вулканических комплексов

В структурном отношении вулканические комплексы являются наиболее сложно устроенными, поскольку включают в себя и *стратифицированные*, и *нестратифицированные* образования, в том числе – *метасоматические*



Типы стратифицированных образований вулканических комплексов

Стратифицированно (т.е. подчиняясь *Закону Стено*) залегают :

- лавовые покровы (пластообразные тела излившихся пород);
- лавовые потоки (лентообразные тела излившихся пород);
- слои туфов (состоят из пепла, обломков пород и кристаллов, выброшенных при извержении и претерпевших перенос по воздуху);
- слои тефроидов (состоят из туфового материала, слегка перемытого на месте отложения);
- слои осадочно-вулканогенных пород (состоят из туфового и осадочного, обычно, терригенного материала).

Главная особенность стратифицированных вулканогенных образований – *быстрое изменение фаций и мощностей.*

ВВ! Лавовые покровы и потоки формируются непосредственным излиянием лав на поверхность Земли, поэтому лучше не употреблять фраз вроде: "Отложения представлены базальтами"

Первично **горизонтальное** залегание стратифицированных вулканических образований

Лавовые потоки и покровы часто залегают горизонтально или почти горизонтально при излияниях из щитовых и трещинных вулканов



Лавовые поля о-ва Барталолмео, Галапагосы





Покровы базальтов.
Плато Путорана.
Фото Ю.А. Лиона

Горизонтальным залеганием отличаются покровы платобазальтов трапповых провинций



Первичное залегание пластов туфов на краях стратовулканов также преимущественно горизонтальное

Базальтовые туфы вулкана Санторин
Фото А.Г. Кошелева



Вулкан Санторин



Первично **наклонное** залегание стратифицированных вулканических образований



На склонах вулканов наклонно залегают не только лавовые потоки, но и слои туфов. Первичные углы падения достигают $30\text{--}35^\circ$

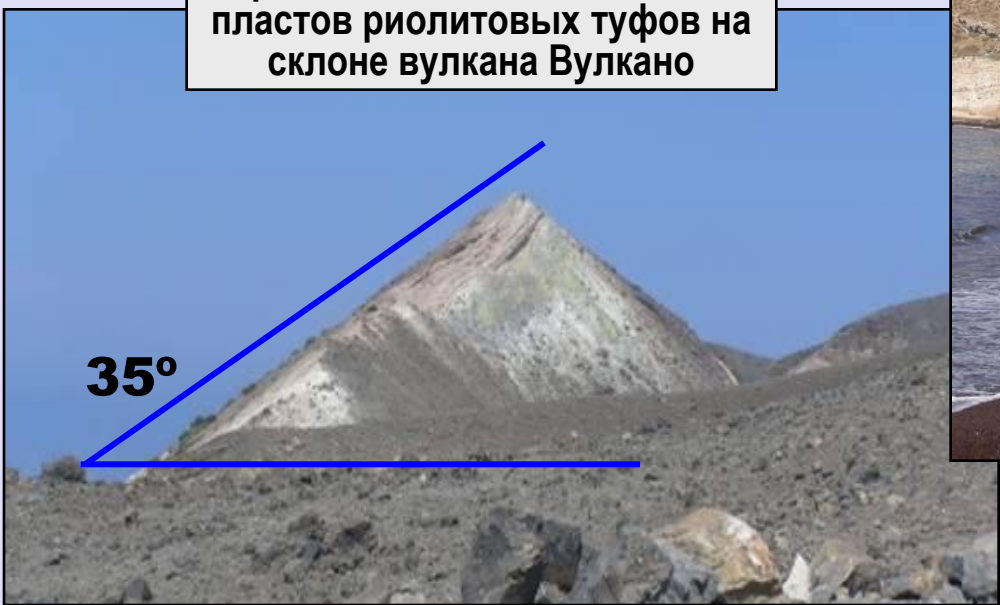


Вулкан Вулкано. Пласты риолитовых туфов имеют первично наклонное залегание на склонах, но лежат горизонтально внутри кратера

Первично наклонное залегание пластов риолитовых туфов на склоне вулкана Вулкано



Первично наклонное залегание пластов базальтовых туфов в паразитическом кратере вулкана Санторин. Фото А.Г. Кошелева



35°

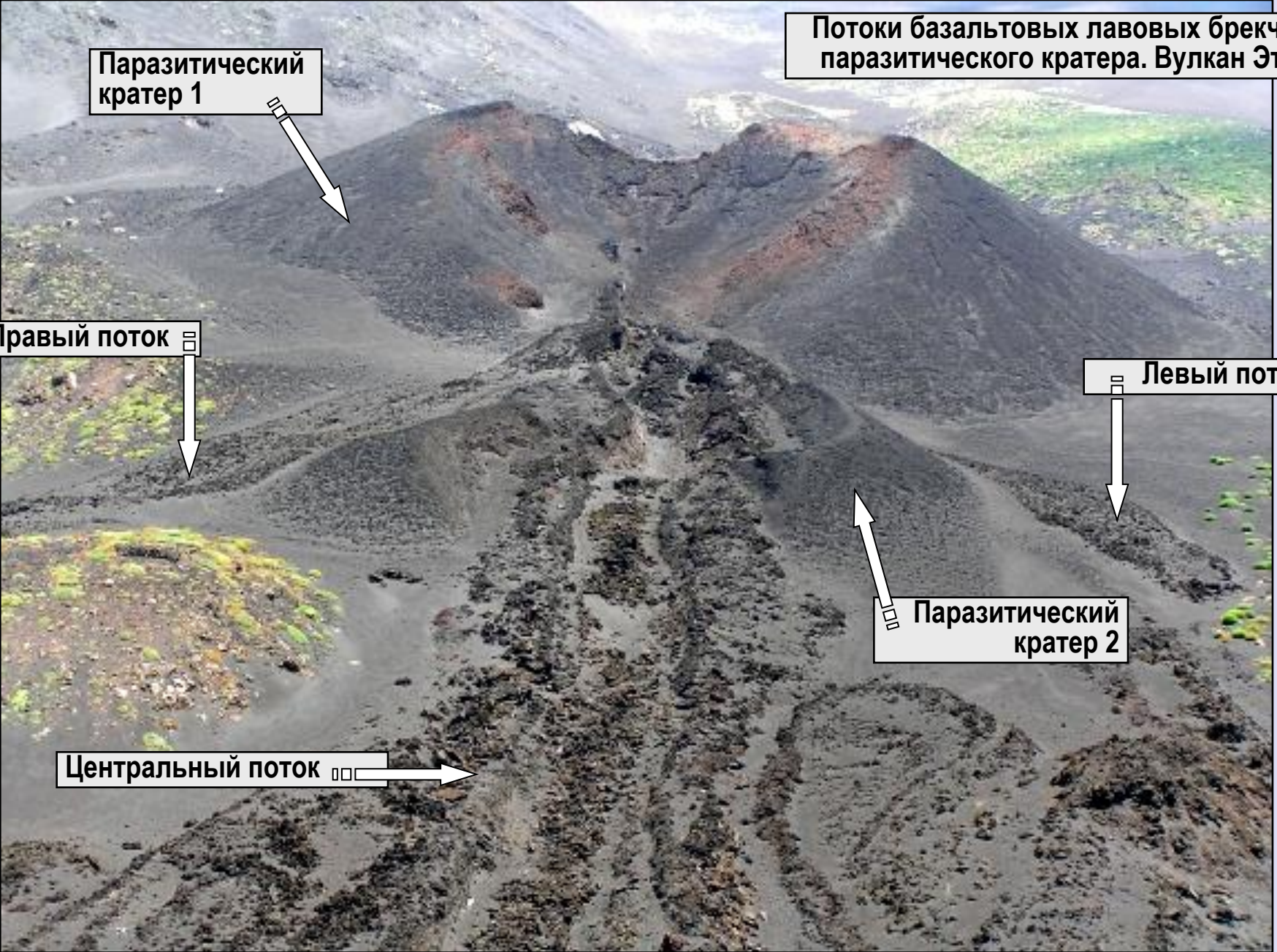
Паразитические кратеры возникают на склонах вулканов, а в разрезе их можно спутать с несогласно залегающими толщами! Поэтому иногда выделяют особый тип несогласия "**вулканическое**", подразумевая, что несогласие это чисто формальное, без существенного перерыва



Паразитический кратер вулкана Вулкано – вулкан Вулканелло



Лавовые потоки



Потоки базальтовых лавовых брекчий паразитического кратера. Вулкан Этна

Паразитический кратер 1



Правый поток



Левый поток



Паразитический кратер 2



Центральный поток



Потоки базальтовых лавовых брекчий
паразитического кратера. Вулкан Этна

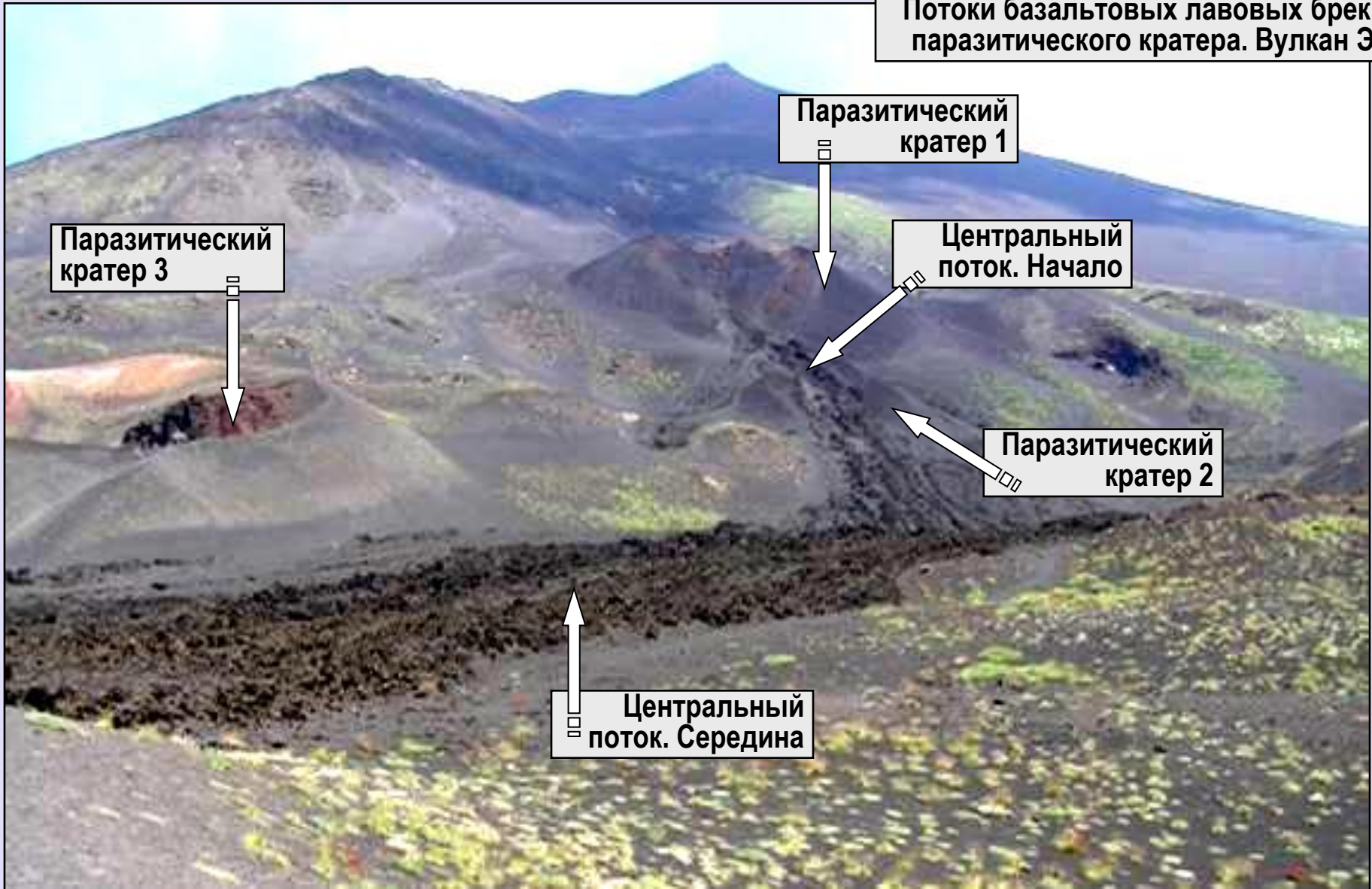
Паразитический
кратер 3

Паразитический
кратер 1

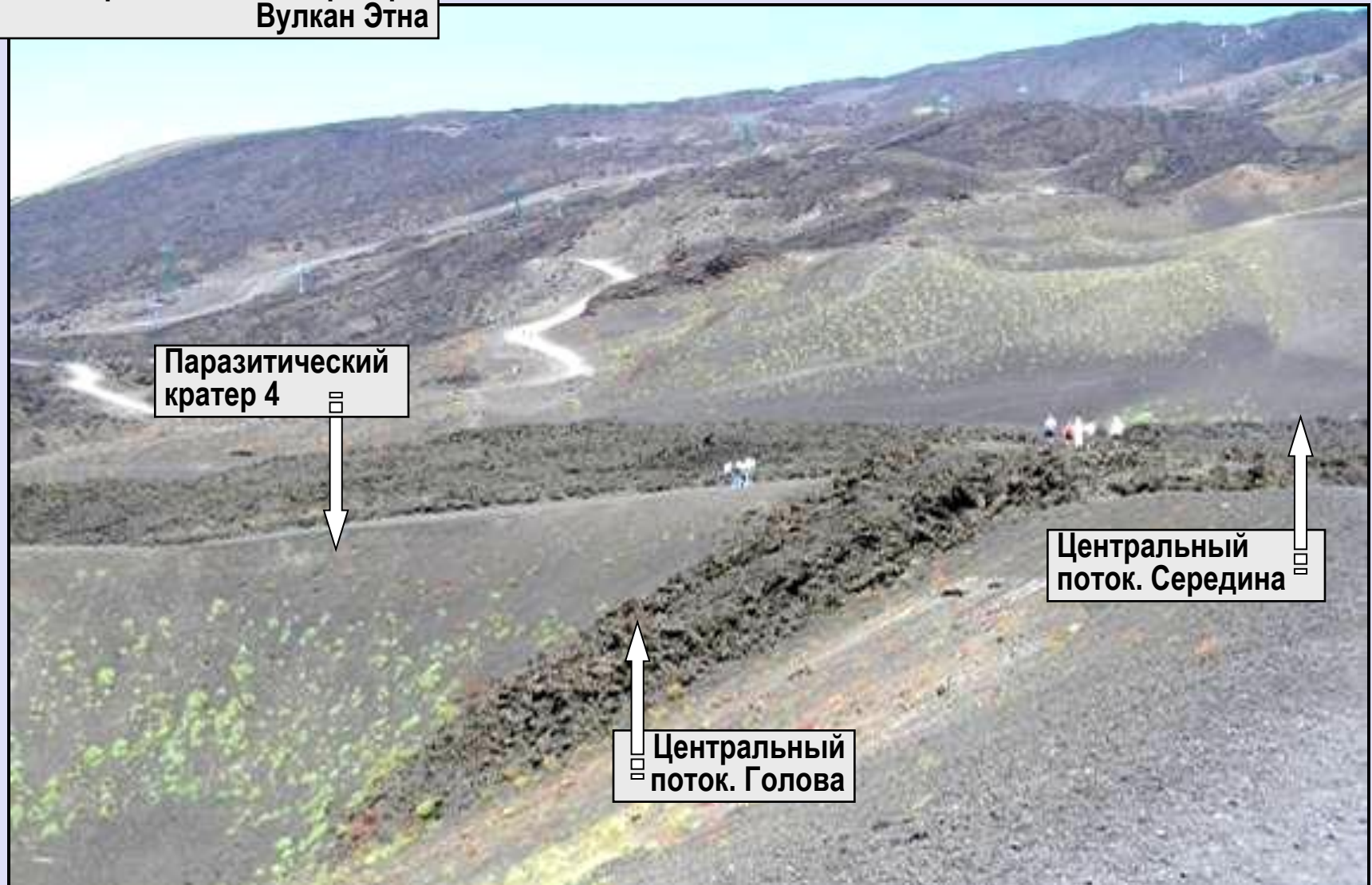
Центральный
поток. Начало

Паразитический
кратер 2

Центральный
поток. Середина



Потоки базальтовых лавовых
брекчий паразитического кратера.
Вулкан Этна



Паразитический
кратер 4

Центральный
поток. Середина

Центральный
поток. Голова

Поток протягивается от жерловины до головы, т.е. имеет **начало** и **конец**.
Из наклонного он может становиться горизонтальным, затем снова наклонным.
В разрезе его легко принять за складку или за флексуру

Фациальная изменчивость

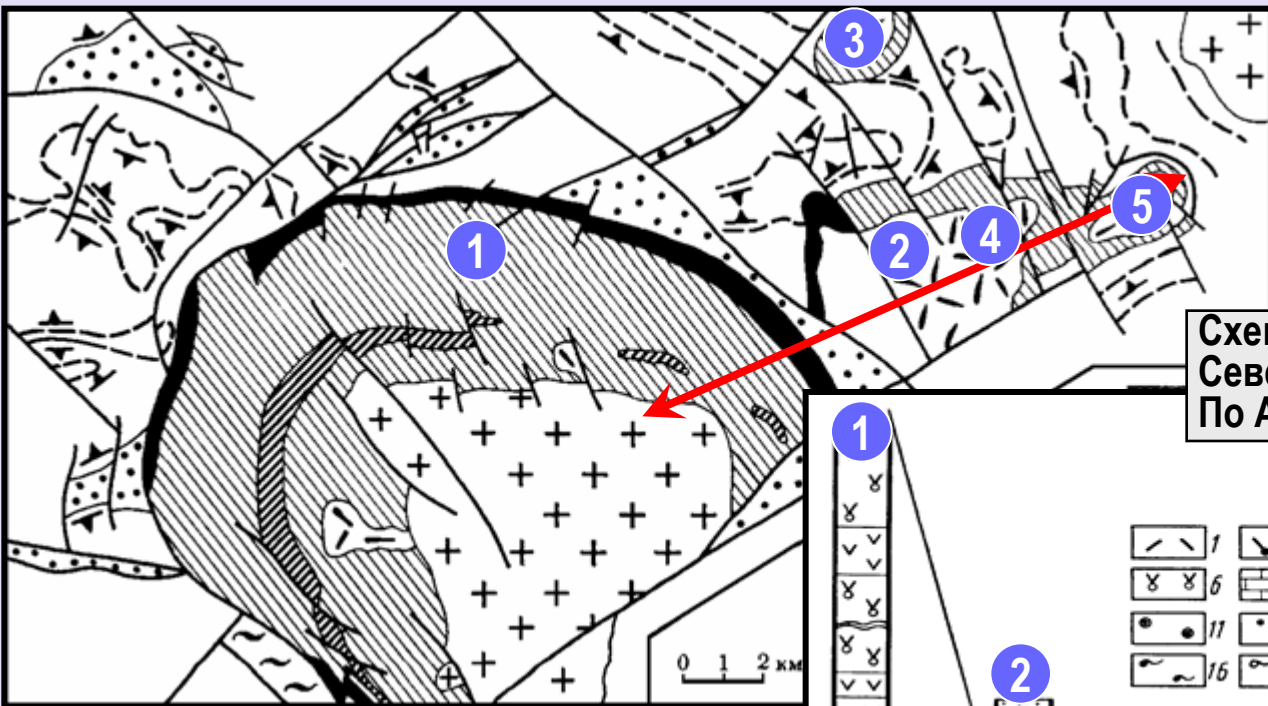
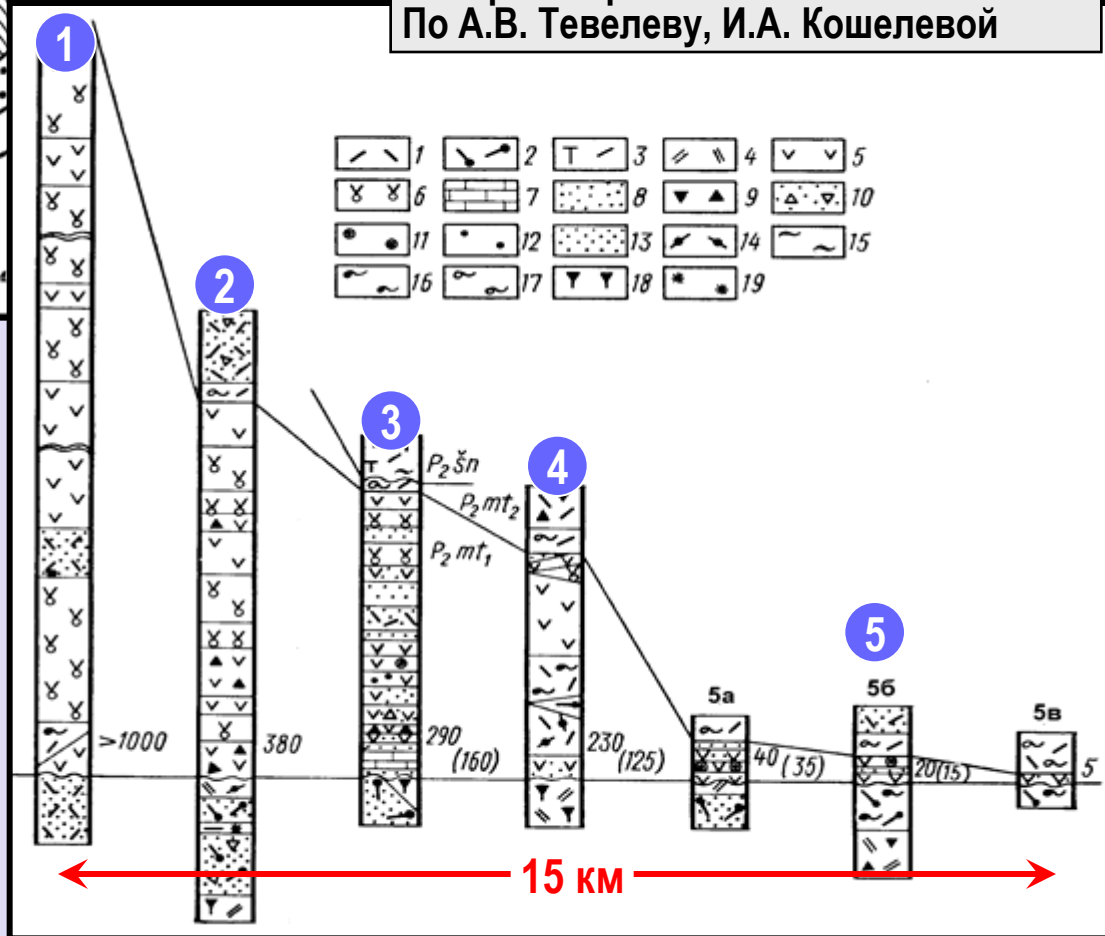


Схема строения палеовулкана Майтас.
Северное Прибалхашье.
По А.В. Тевелеву, И.А. Кошелевой

Мощность толщ
андезибазальтов изменяется
на расстоянии 15 км от ~1000 м
до 5 м, а состав – от мощной
толщи лавовых покровов до
пачки литокластических туфов



- лавовые брекчии базальтового состава
- туфобрекчии базальтового состава
- туфы базальтового состава
- игнимбриты дацитового состава
- риодациты
- туфобрекчии риодацитового состава
- лавовые брекчии риодацитового состава
- туфы риодацитового состава
- игнимбриты риодацитового состава
- игнимбриты риолитового состава
- задернованная область
- габбро
- сиениты

МАРКИРУЮЩИЕ ГОРИЗОНТЫ

- базальты
- базальты миндалекаменные
- лавовые брекчии базальтового состава
- туфы андезибазальтового состава
- туфы андезитового состава
- песчаники

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ГРАНИЦЫ

- геологические границы
- фациальные границы
- элементы залегания наклонного

Направление удаления от жерлового аппарата

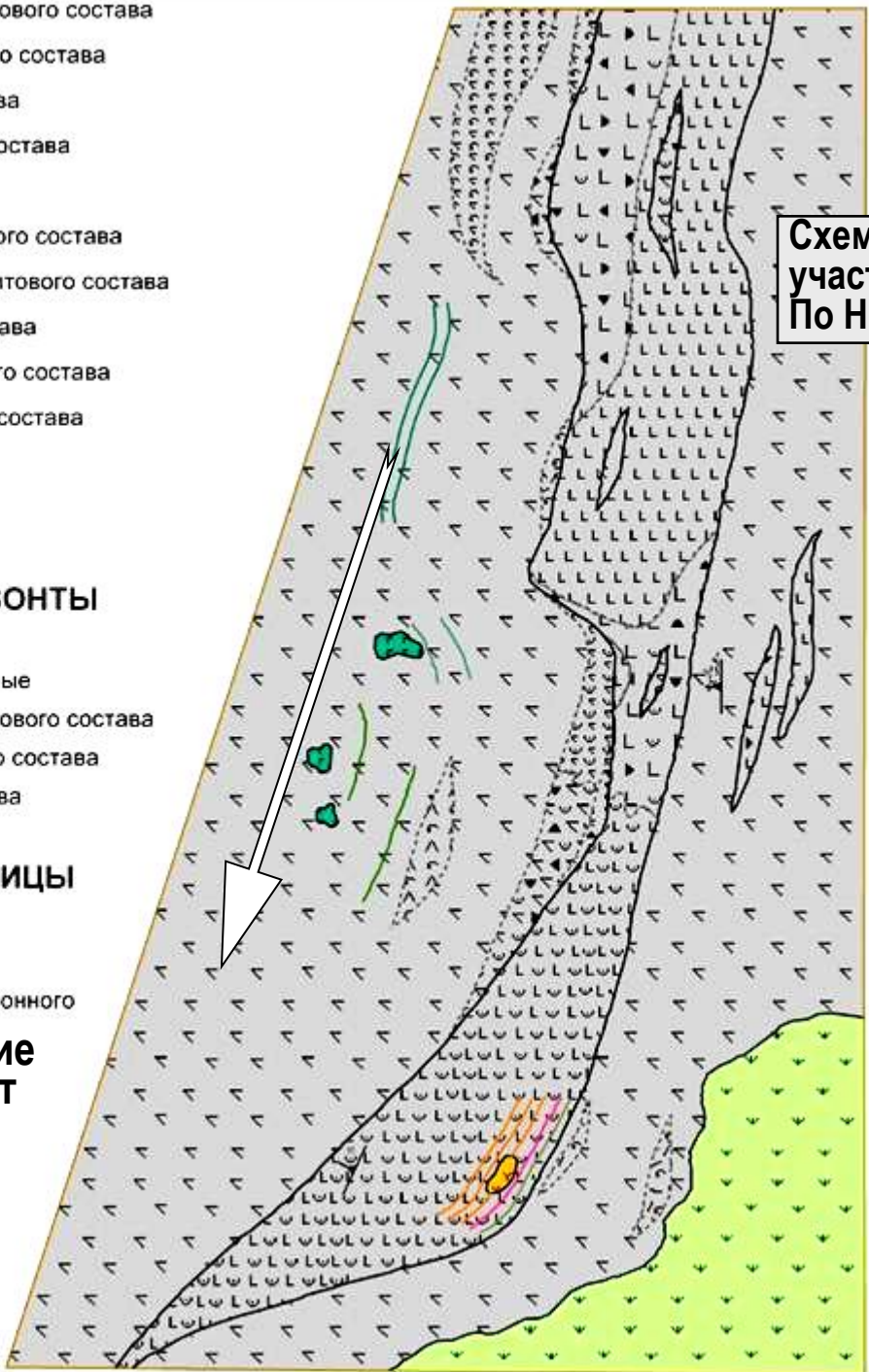
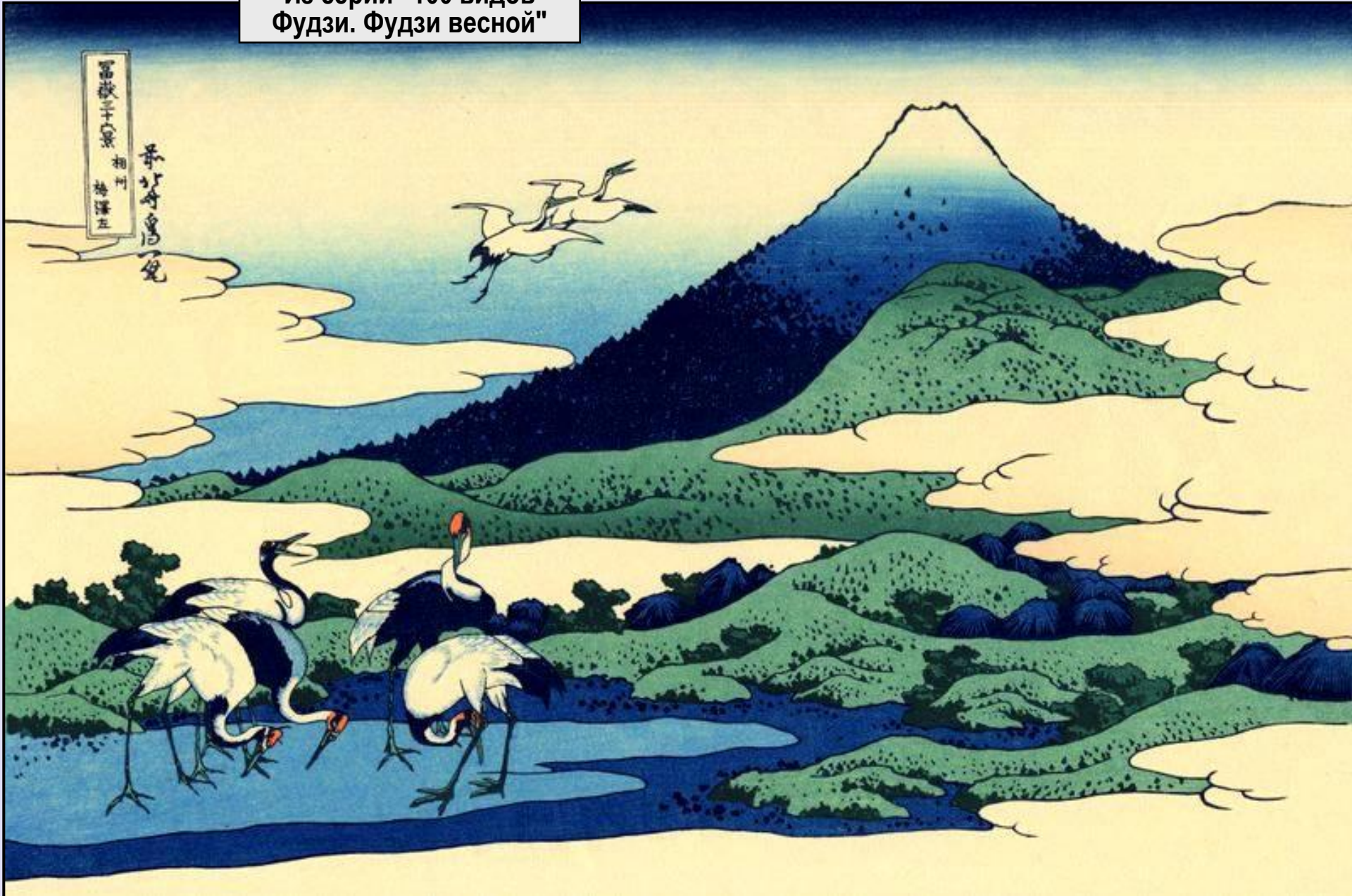


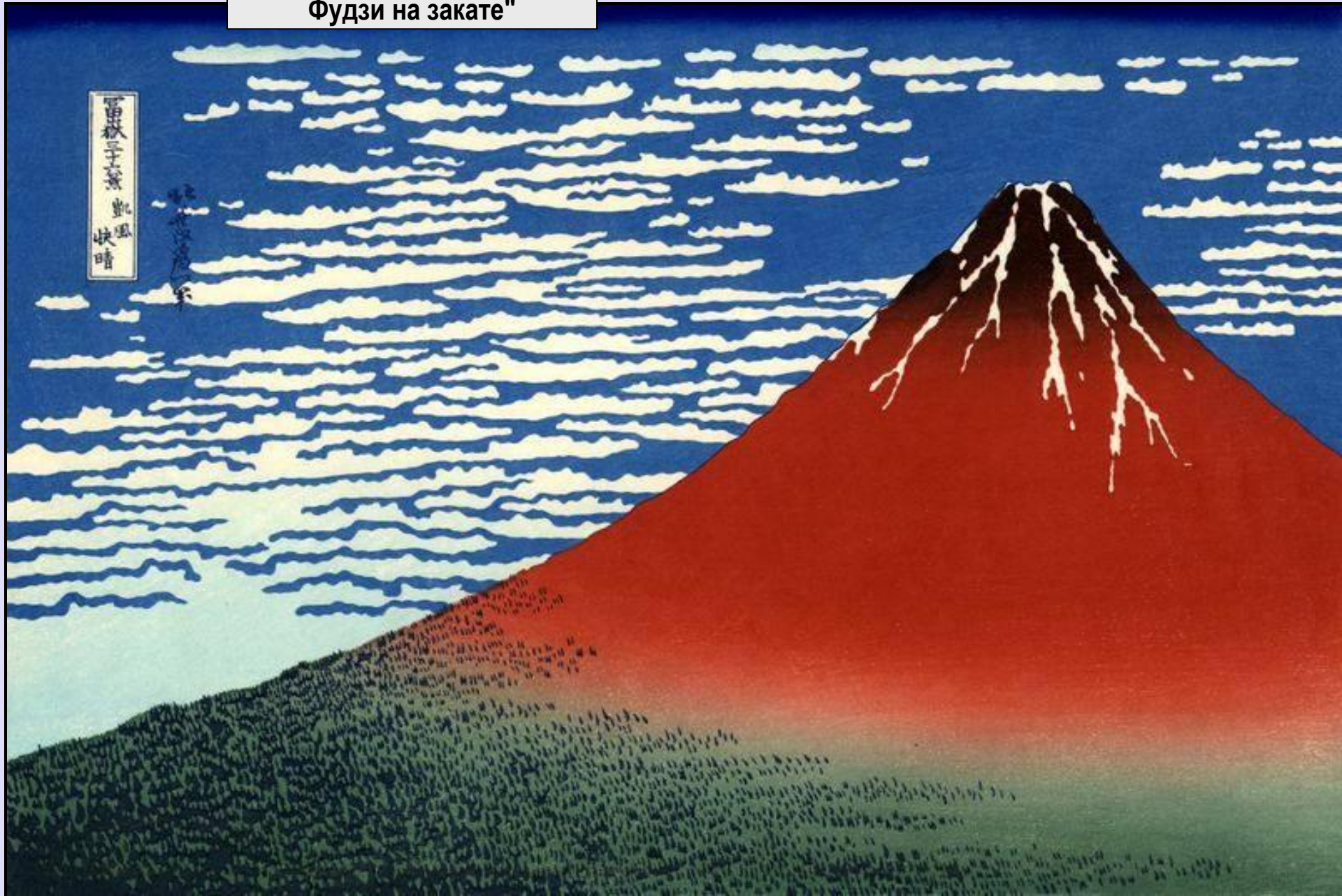
Схема геологического строения участка Западная Чека (Южный Урал). По Н.В. Правиковой, И.А. Кошелевой

Мощность базальтовой толщи изменяется на расстоянии 10 км от 700 до 70 м, а состав от лавовых покровов через лавовые брекчии до витрокластических туфов

К. Хокусай.
Из серии "100 видов
Фудзи. Фудзи весной"



К. Хокусай.
Из серии "100 видов Фудзи.
Фудзи на закате"



富士山夕景
快晴

Определение кровли – подошвы в вулканических толщах

Р. Шрок [*Последовательность в свитах слоистых пород, 1950*] приводит 25 признаков определения кровли и подошвы вулканических образований. Для пирокластических и вулканогенно-осадочных пород они близки к признакам определения подошвы – кровли в терригенных породах. Для лавовых покровов и потоков имеются свои специфические признаки.

Признаки, по которым возможно определение подошвы – кровли в лавовых потоках:

- захороненные объекты, обладающие первичной ориентировкой в пространстве;
- лавовые брекчии, различающиеся в кровле и подошве потока;
- ксенолиты подстилающих пород;
- форма миндалин в разных частях потока;
- характер заполнения миндалин;
- ориентировка столбчатой отдельности;
- форма подушек в подушечных лавах;
- морфология лавовых выжиманий...

1. Захороненные объекты, обладающие первичной ориентировкой в пространстве

Это могут быть деревья, древние почвы, древний рельеф, подстилающие осадочные толщи с признаками первичных ориентировок и пр.



Залитые лавой деревья. Вулкан Этна



Дом, затопленный лавовым потоком. Вулкан Этна



Церковь, остановившая лавовый поток. Вулкан Этна

NB! Вероятность встретить в мезозойских, скажем, лавах затопленный дом мала, а вот дерево – велика!

Карл Брюлов.
Последний день Помпеи



2. Лавовые брекчии

Поток жидкой лавы застывает неравномерно. В первую очередь застывают участки, соприкасающиеся с воздухом, водой и уже остывшими подстилающими породами. Движение еще жидкой лавы приводит к взламыванию застывающей корки, обломки которой цементируются той же лавой. При застывании этой смеси и образуются лавовые брекчии. Поскольку этот процесс может повторяться неоднократно, часто в обломках поздних брекчий встречаются более ранние брекчии.

Отличительные черты лавовых брекчий – одинаковый состав обломков и цемента, отсутствие сортировки, инъекции лавы в трещины обломков.

Брекчии в кровле и в подошве лавового потока близки по облику и составу. Вместе с тем, в подошве потока брекчии обычно имеют меньшую мощность и могут содержать ксенолиты подстилающих пород. В лавовых брекчиях кровли потока может попадаться туфовый материал (пепел, кристаллокласты и пр.)



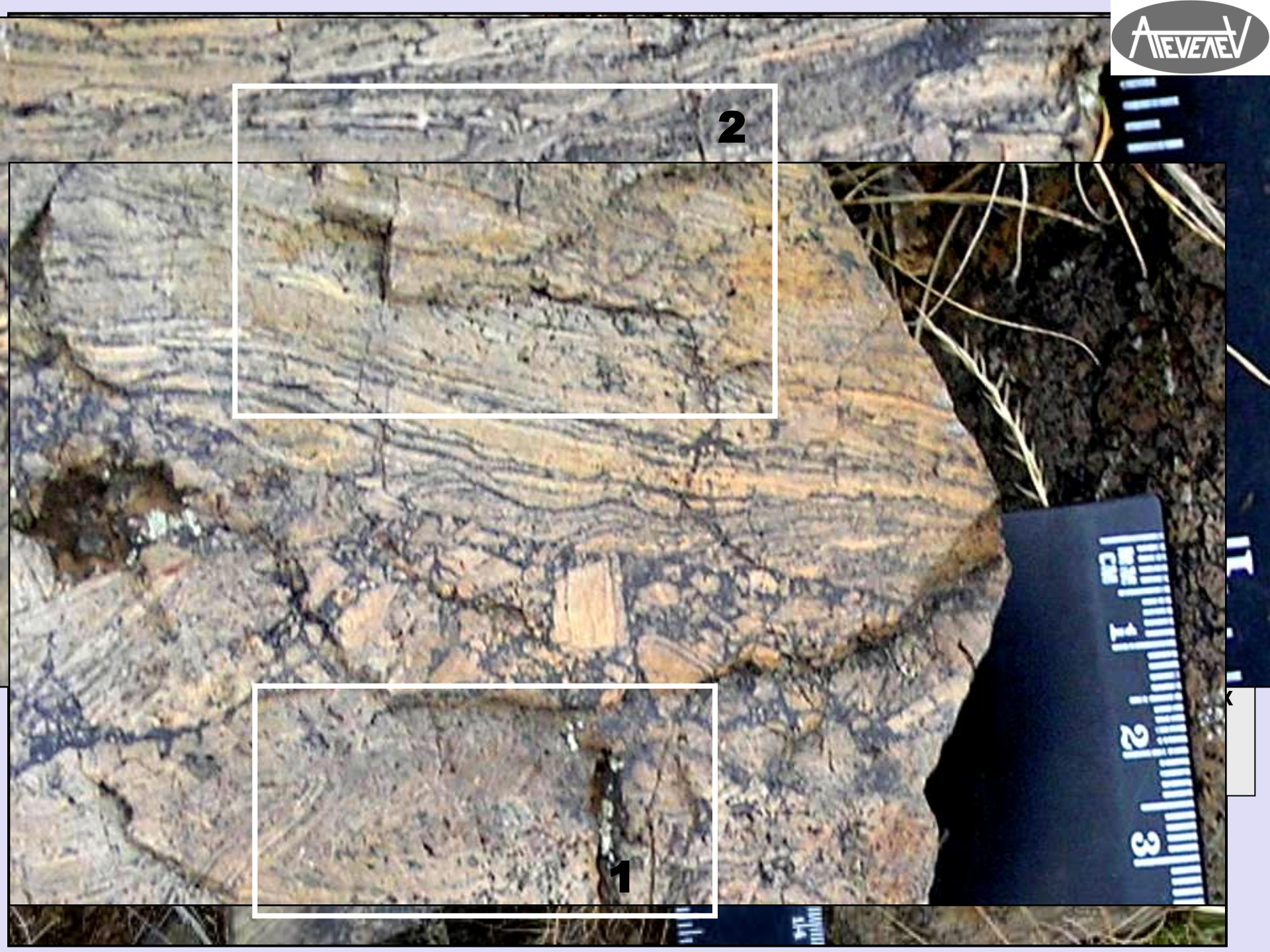
Лавовые брекчии базальтов раннего девона. Ю. Урал



**Лавовые брекчи кровли потока базальтов раннего карбона.
Ю. Урал. Фото И.А. Кошелевой**



**Лавовые брекчи кровли потока андезитов раннего карбона.
Ю. Урал. Фото И.А. Кошелевой**

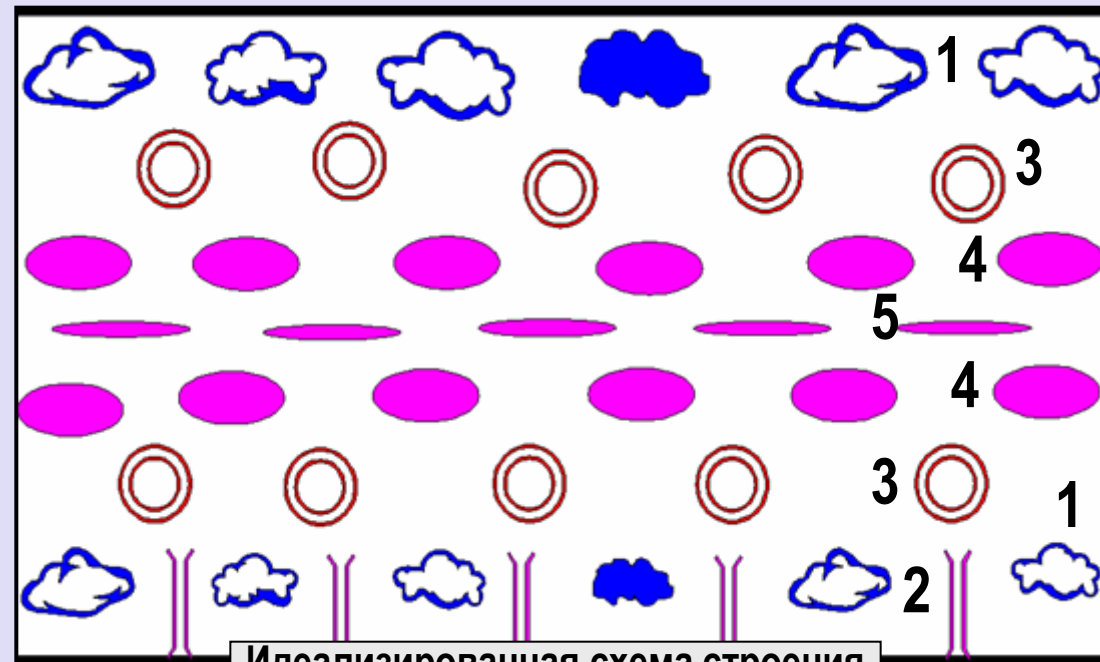


2

1

3. Миндалины

Миндалины (от ореха – **миндаля**) образуются внутри застывающего лавового потока в газовых пузырях, которые поднимаются от подошвы к кровле. Форма пузырей зависит скорости застывания и вязкости лавы, а также от положения пузыря в потоке, поэтому по форме миндалин часто можно определить элементы залегания потоков, а также положение подошвы и кровли



Идеализированная схема строения миндалекаменного потока

- 1 – неправильные обычные в основании и в кровле потока;
- 2 – трубчатые характерны для основания потока;
- 3 – сферические располагаются в средней части потока и постепенно переходят в "4";
- 4 – эллипсовидные также находятся в середине потока, постепенно переходя в "5";
- 5 – щелевидные образуют узкие зоны в самой середине потока

ВВ! Основные и средние породы с существенным количеством миндалин называют «**миндалекаменными**». В кислых породах миндалины принято называть «**литофизами**», а сами породы – «**литофизными**»

Миндалины неправильной формы.
Кровля потока базальтов.
Средний девон. Ю. Урал



Эллипсоидные миндалины.
Верхняя часть потока.
Средний девон. Ю. Урал



Щелевидные миндалины.
Середина потока.
Средний девон. Ю. Урал



Миндалины образуются в газовых пустотах (пузырях) внутри застывающего лавового потока. Эти пузыри либо так и остаются пустыми, либо заполняются различными минералами (полностью или частично): кварцем, кальцитом, эпидотом, хлоритом, цеолитом и, реже, другими минералами. Различают несколько способов заполнения пустот:

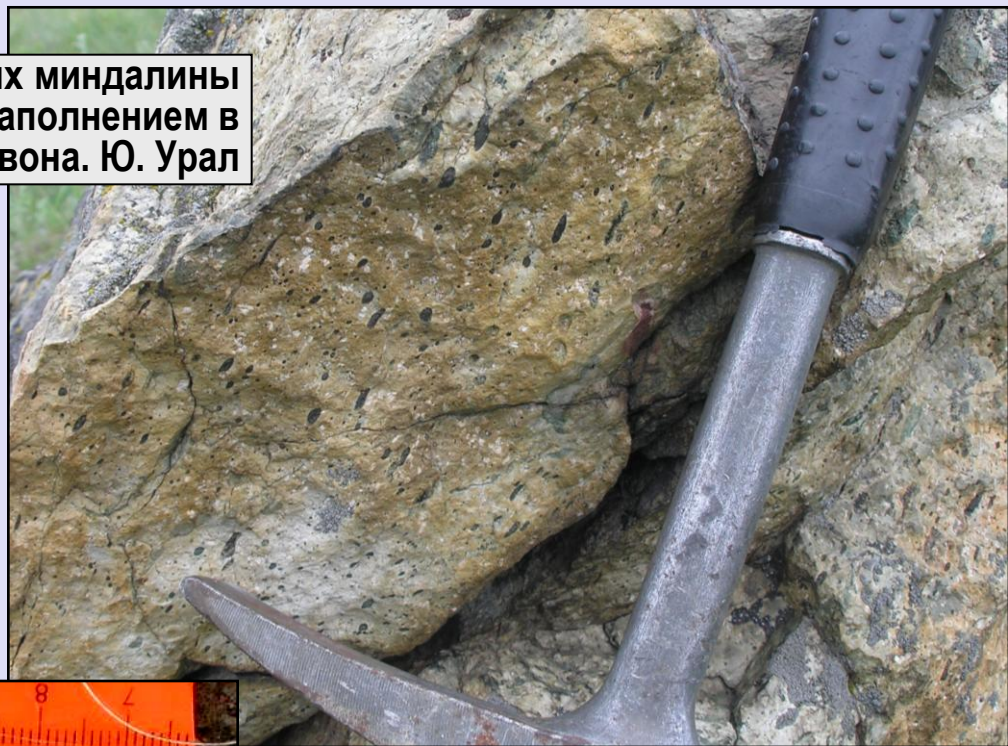
- 1 – **однородное** (неструктурированное заполнение всего объема);
- 2 – **концентрическое** (от стенок к центру);
- 3 – **последовательное** (снизу вверх или сверху вниз);
- 4 – **комбинированное**.

Обычно заполнение происходит сразу после застывания потока, поэтому, если оно последовательное или комбинированное с элементом последовательного, появляется возможность определить по характеру миндалин положение "верха" – "низа" в потоке ("ватерпасные" миндалины по Р. Шроку, 1950).

NB! Заполнение миндалин может происходить намного позже того, как застыл поток, причем неоднократно, поэтому использовать тип заполнения миндалин для определения "подошвы – кровли" потока надо с осторожностью, лучше в комбинации с формой миндалин.

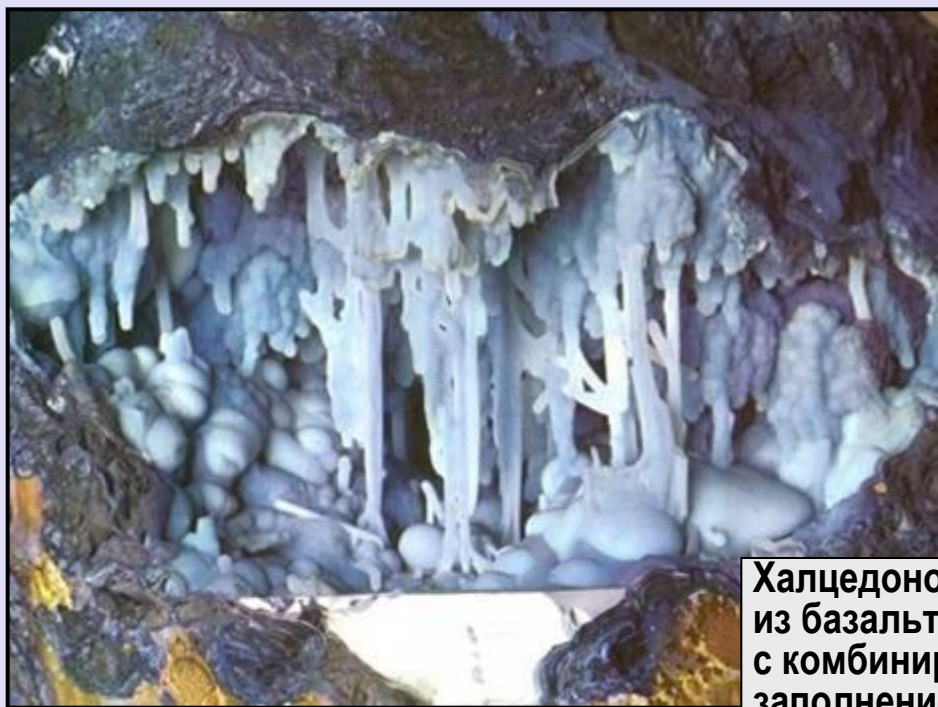
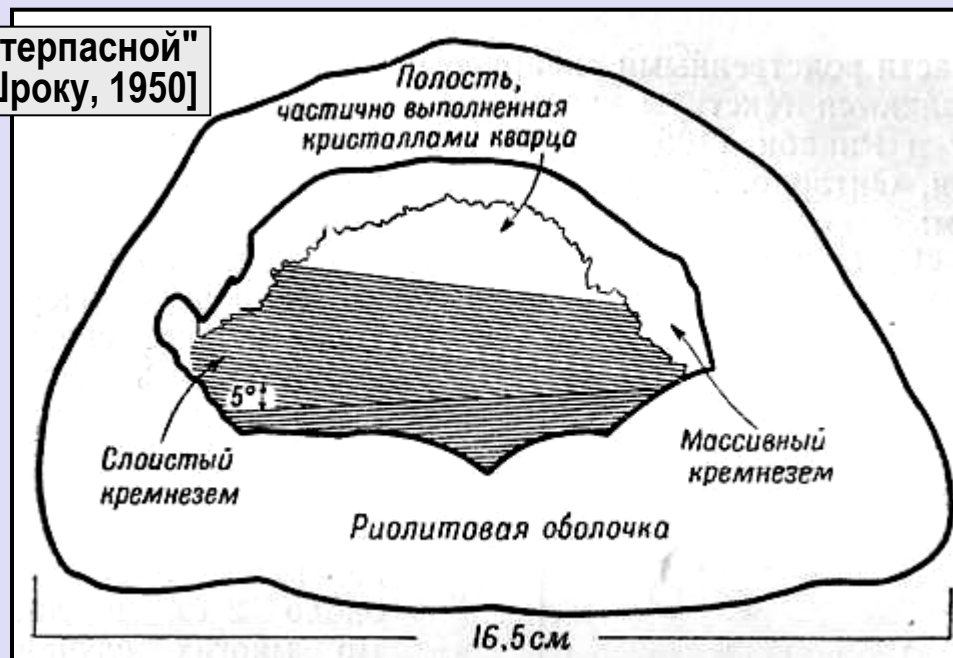


Эллипсоидные до щелевидных миндалины
с однородным (хлорит) заполнением в
базальтах среднего девона. Ю. Урал



Эллипсоидные концентрические миндалины
(халцедон, кальцит) в базальтах нижнего
карбона. Ю. Урал. Фото Н.В. Правиковой

Схема строения "ватерпасной"
миндалина [по Р. Шроку, 1950]



Халцедоновая миндалина
из базальтов (~15 см)
с комбинированным
заполнением. Чехия

Аметистовая
миндалина из
базальтов (~50 см)
с концентрическим
заполнением.
Бразилия



4. Столбчатая отдельность

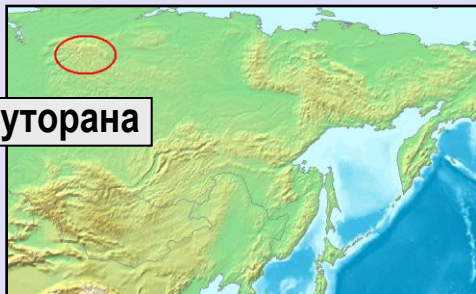
Столбчатая отдельность возникает в покровах жидких лав при равномерном быстром застывании и незначительной скорости движения лавы. Основная причина появления столбчатой отдельности – **сила поверхностного натяжения**. При остывании и затвердевании лавы её объем уменьшается, а за счет сил поверхностного натяжения на кровле потока появляется **гексагональная сеть трещин**, которая по мере остывания растет вниз, т.е. ортогонально к поверхности покрова (или по максимальному температурному градиенту). Широко распространены также **пятиугольные** в сечении столбы.

Начальная гексагональная сеть в лавовом потоке образуется так же, как и трещины усыхания в глинистом осадке.



Трещины усыхания в глинистых осадках [по Р. Шроку, 1950]

Столбчатая отдельность в базальтах. Плато Путорана. Фото Ю.А. Лиона



Плато Путорана



Столбчатая отдельность в базальтах. "Мостовая гигантов". Ирландия. Геовикипедия



Столбчатая отдельность часто сопровождается ровной поперечной (плиточной) отдельностью, которая также образуется за счет контракции (уменьшения объема лавы при остывании). Каждый столб разделяется на почти идеальные призмы, высота которых часто меньше толщины столба.

В кислых вулканитах столбчатая отдельность формируется в основном в **субвулканических образованиях**, при этом столбы ориентируются поперек контактов субвулканических тел



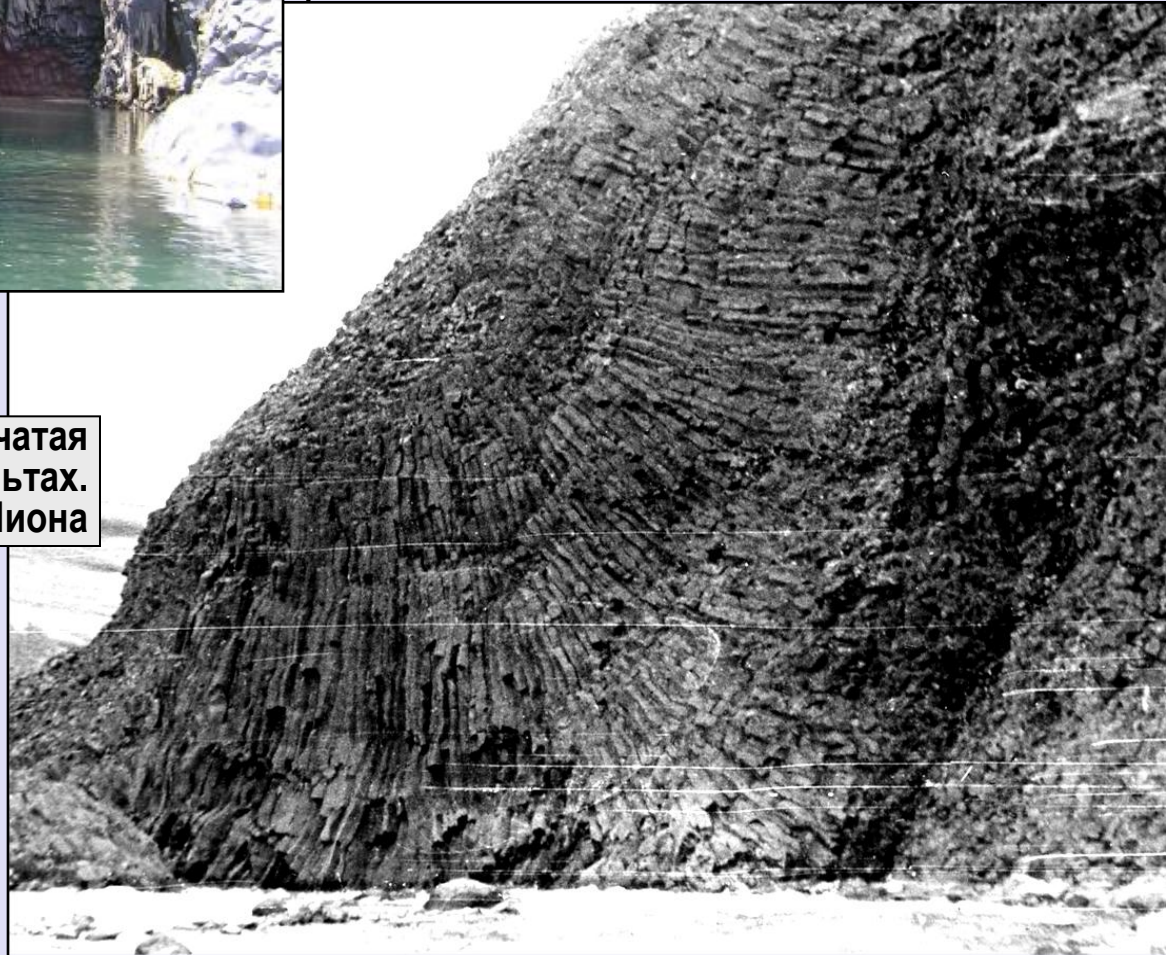
Столбчатая отдельность в риолитах у д. Сафарово. Ю. Урал.

При продолжающемся движении лавового потока столбчатая отдельность может изгибаться в соответствии с изменением положения уже остывшей поверхности или максимального температурного градиента



Тонкая столбчатая отдельность в четвертичных базальтах. Мощность потока 80 м. Сицилия

Веерообразная столбчатая отдельность в базальтах. Плато Путорана. Фото Ю.А. Лиона



5. Подушечные лавы

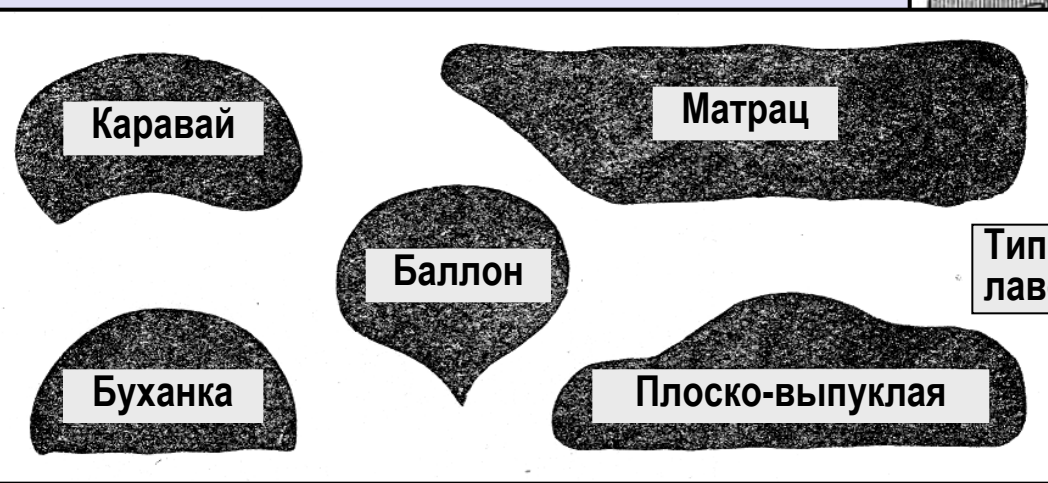
Подушечные лавы возникают в подводных условиях при высоком давлении воды и слабой интенсивности трещинных излияний высокотемпературной базальтовой магмы. В этой обстановке каждая порция лавы за счет сил поверхностного натяжения оформляется в отдельную каплю. Подушки быстро остывают от поверхности к центру, поэтому имеют зональное строение: "корки", зоны закалки, концентрическое расположение миндалин и т.д. Межподушечное пространство заполняется гиалокластитами или яшмоидами

Форма подушек во многом зависит от морфологии подстилающей поверхности, верхние подушки «затекают» в пространство между нижними, крупные подушки могут «облекать» мелкие нижние и т.д.



Идеализированная схема строения пиллоу-лавы [по Р. Шроку, 1950]

Типичные поперечные разрезы лавовых подушек [по Р. Шроку, 1950]



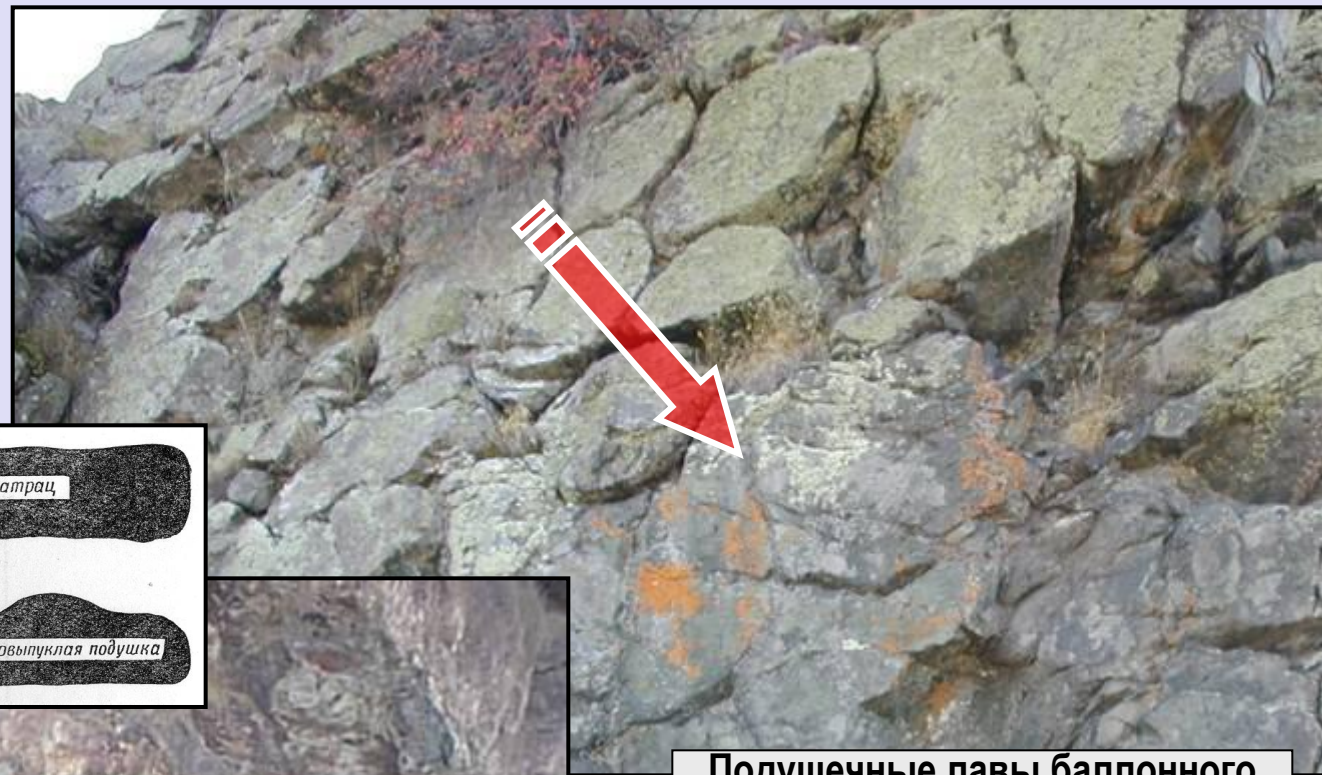
Каравай

Матрац

Баллон

Буханка

Плоско-выпуклая

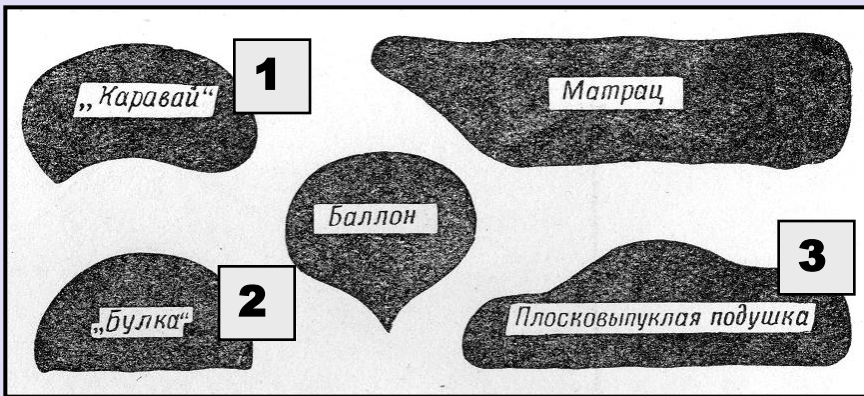


Подушечные лавы баллонного типа. Верхний девон. Ю. Урал (Фото Н.В. Правиковой)

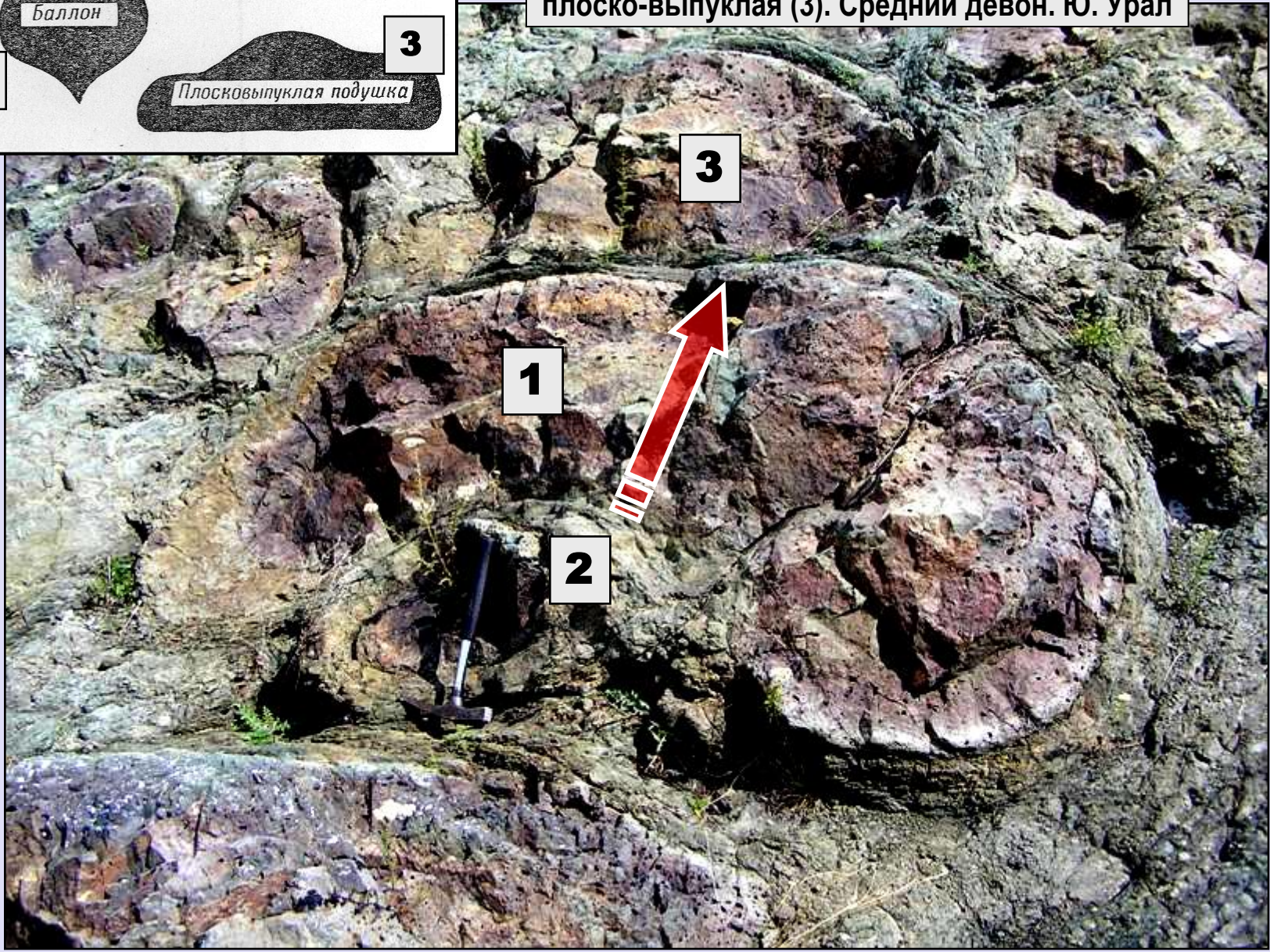


Подушки грибообразного (баллонного) типа. Средний ордовик. Ю. Урал





Подушки типа "каравай" (1), "булка" (2), плоско-выпуклая (3). Средний девон. Ю. Урал



Шаровая (десквамационная) отдельность в литокластических туфах раннего карбона (Ю. Урал)



Шаровая (десквамационная) отдельность в базальтах раннего карбона (Ю. Урал)



С лавовой *подушечной* отдельностью не надо путать десквамационную *шаровую* отдельность. Основное отличие шаровой отдельности заключается в отсутствии зонального строения. Есть только трещины

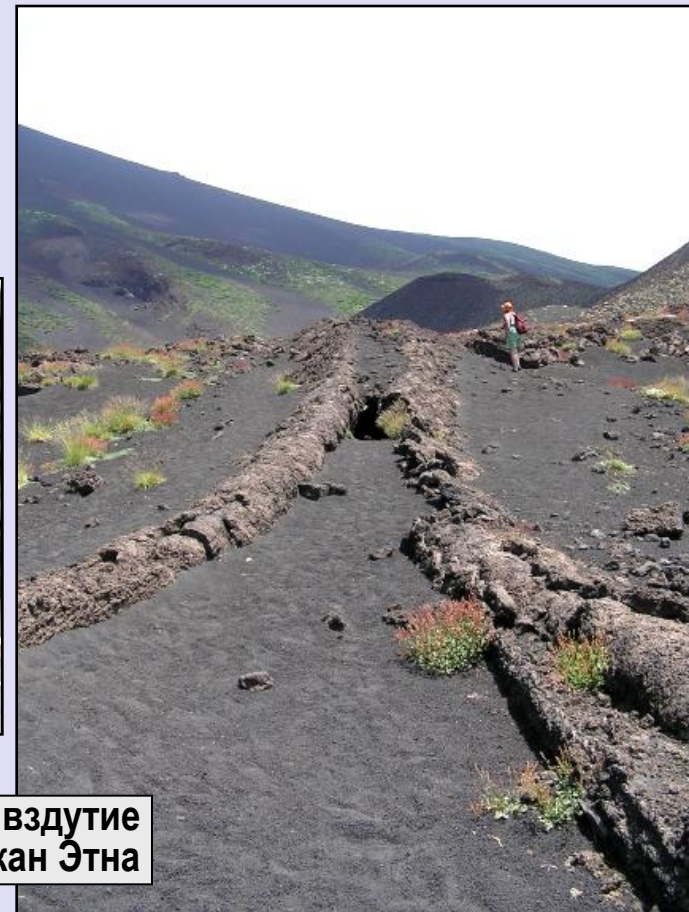
6. Лавовые "вздутия выжимания" (трубы)



Типы вздутий выжимания
[по Р. Шроку, 1950]



Вздутия выжимания образуются при выдавливании жидкой лавы через трещины в корке потока. При их застывании внутри часто образуются пустоты



Удлиненное вздутие
выжимания. Вулкан Этна



В древних вулканических комплексах лавовые трубы встречаются редко и практически всегда бывают заполнены гидротермальными минералами: кварцем, кальцитом и т.п. Определение подошвы и кровли потока возможно при наличии четкой морфологии – плоский "пол", аркообразный "свод".



Лавовая труба, выполненная кварцем. Средний ордовик. Южный Урал

7. Лавовые "снежные комья (шары)"

Лавовые "снежные шары" образуются так же, как и настоящие снежные шары – крупная глыбы катится по склону вулкана и на нее налипают вязкая липкая лава. Идентифицировать лавовый «снежный ком» в разрезе вулканогенной толщи сложно, но если таковой обнаружится, установить верх – низ разреза по нему очень трудно.



Лавовый "снежный ком". Вулкан Этна. Фото А.Г. Кошелева

К. Хокусай.
Из серии "100 видов Фудзи.
Волна"

