

Структурная геология и геологическое картирование

Лекция № 17

«Строение плутонических комплексов»

Лекция 2

Первичные ориентированные структуры в массивах гранитоидов



Первичные ориентированные структуры в плутонах объединяются термином "**прототектоника**". Под этим термином понимают структурные элементы, возникшие непосредственно при формировании массива, то есть, до того, как они начали изменяться под воздействием внешних сил.

Ориентированные структуры в плутонических массивах делятся на две большие группы:

- 1) **прототектоника жидкой фазы**,
- 2) **прототектоника твердой фазы**.

Прототектоника жидкой фазы – структурные элементы, обусловленные течением магмы непосредственно в процессе образования массива.

Прототектоника твердой фазы – структурные элементы, возникшие в отвердевшем массиве при его остывании. Их формирование связано, главным образом, с **контракцией**, то есть, с уменьшением объема вещества при остывании.

Прототектоника жидкой фазы

1, 2) линейные текстуры течения

("линейность") – ориентированное, параллельное расположение удлиненных элементов породы:

1 – столбчатых, игольчатых и **2** – удлиненно-таблитчатых (кристаллов амфибола, плагиоклаза, длинных ксенолитов).

3) параллельные текстуры течения –

"послойное" чередование пород различного состава или полос, обогащенных каким-либо одним или несколькими минералами (кварцем, полевым шпатом, роговой обманкой) либо параллельное расположение уплощенных минералов (слюд и т.п.).

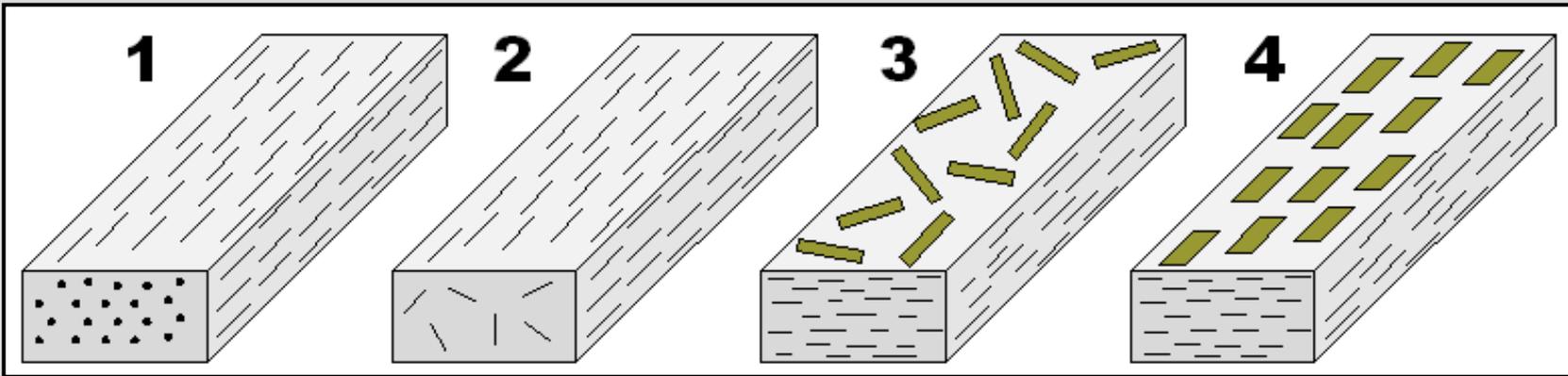
4) параллельно-линейные текстуры течения –

ориентированное, параллельное расположение удлиненных и уплощенных элементов породы (удлиненно-таблитчатых кристаллов полевых шпатов, вытянутых плоских ксенолитов).

NB! В поперечном сечении ориентировка отсутствует!

NB! В "послойном" сечении ориентировка отсутствует!

NB! Ориентировка присутствует во всех сечениях!



Элементы залегания текстур прототектоники жидкой фазы



1, 2. Ориентировка линейных текстур течения определяется только **азимутом** и **углом падения линий течения**.

NB! в общем случае направление простираения отсутствует!

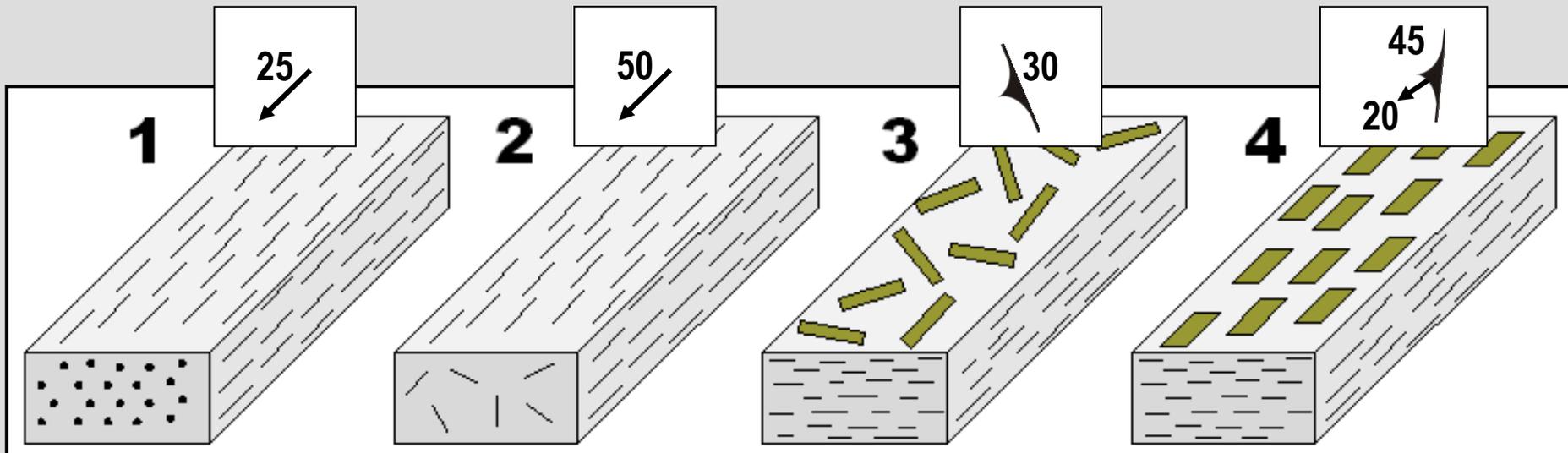
3. Ориентировка параллельных текстур течения определяется только **азимутом** и **углом падения поверхности течения**.

NB! Направление течения отсутствует!

4. Ориентировка параллельно-линейных текстур течения определяется **двумя (!)** элементами залегания:

- **азимут** и **угол падения поверхности течения**,
- **азимут** и **угол падения линии течения**, которая находится на поверхности течения.

NB! Эти элементы могут не совпадать!





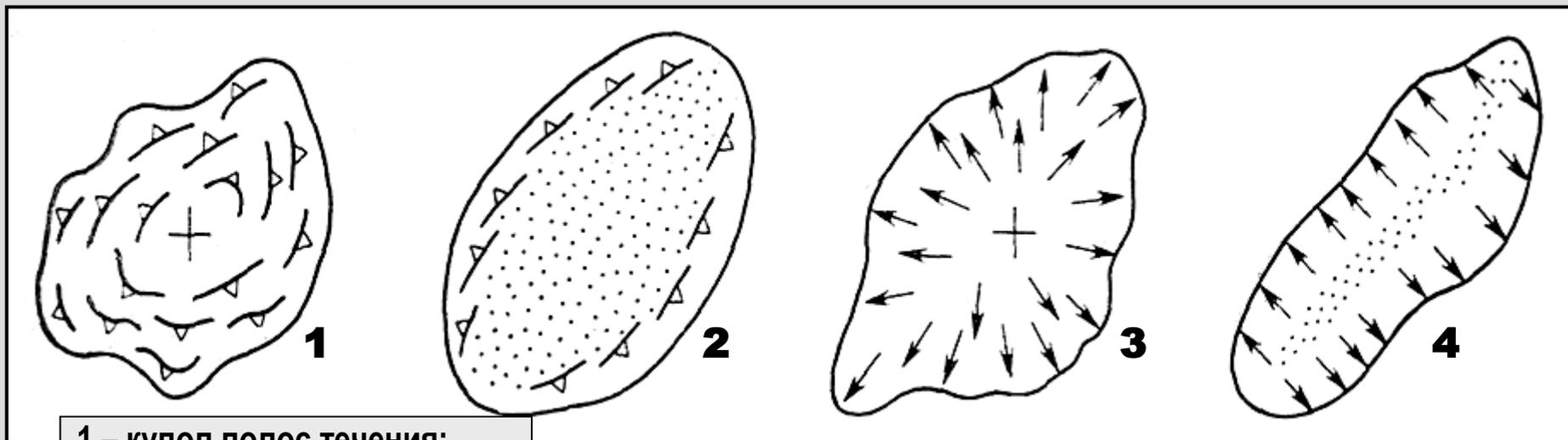
Параллельные текстуры течения в гранитах, выраженные в ориентировке фенокристаллов калишпата.
Суундукский массив. Южный Урал



Вторичная плоско-параллельная ориентировка фенокристаллов калишпата в гранитах.
Суундукский массив. Южный Урал

ВВ! Прототектонические текстуры бывает легко спутать с вторичными, наложенными ориентированными структурами!

Структурные типы интрузивов [по А.Е. Михайлову]



- 1 – купол полос течения;
 - 2 – свод полос течения;
 - 3 – купол линий течения;
 - 4 – свод линий течения
- [по А.Е. Михайлову]

NB! Поскольку элементы течения обычно приурочены к эндоконтам, своды (2) могут на самом деле оказаться сильно эродированными куполами (1)!



Схематический разрез свода – купола

Прототектоника твердой фазы

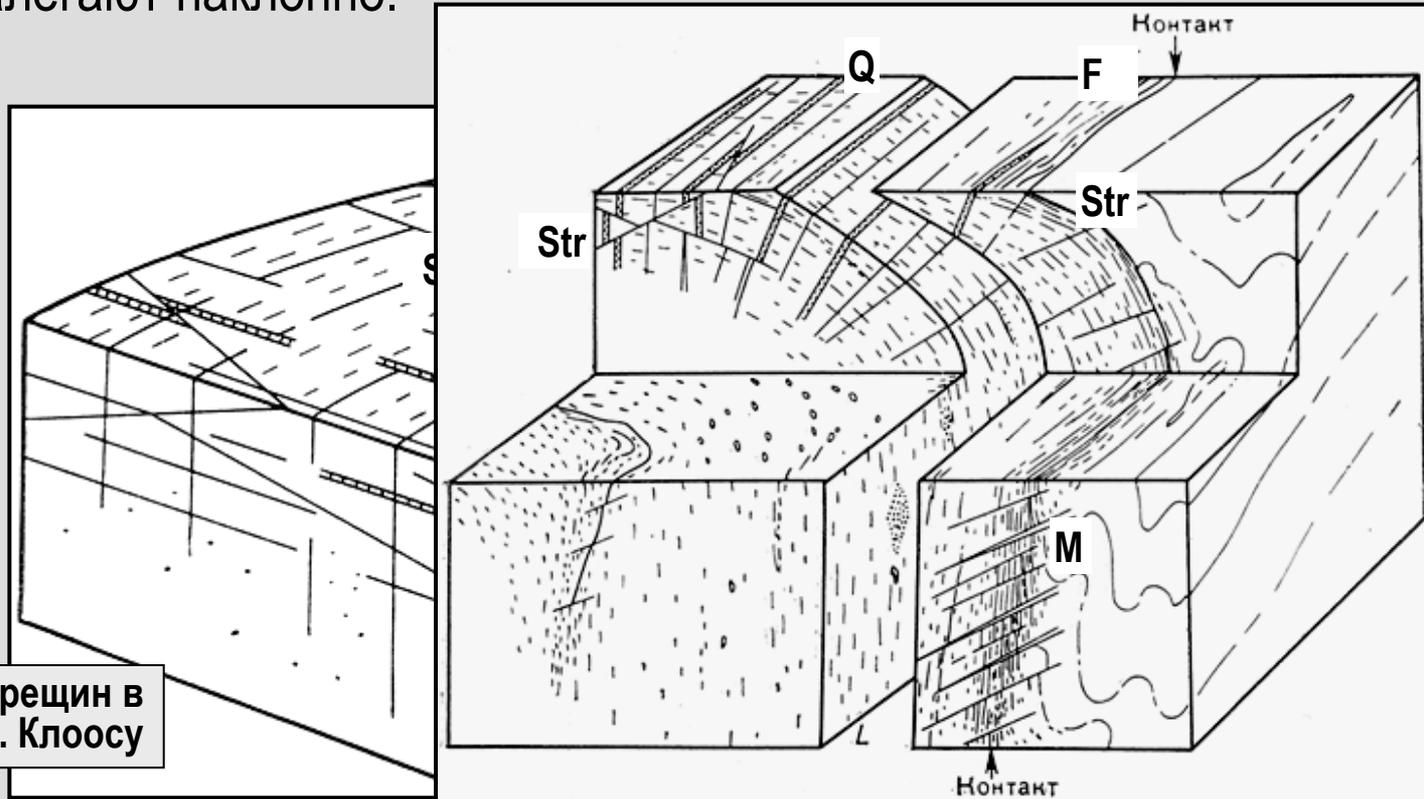
Поперечные трещины (Q) – ориентированы перпендикулярно линейности (F), обычно залегают круто.

Продольные трещины (S) – ориентированы параллельно линейности (F), обычно залегают круто.

"Пластовые" трещины (L) – ориентированы параллельно поверхностям течения, ортогонально к поперечным и продольным, то есть, обычно залегают полого.

Диагональные трещины (Str) – ориентированы косо к линейности (F), обычно это *сколы*, залегают наклонно.

Краевые трещины (M) – иногда появляются в эндоконтактах массива, располагаются под углом к линейности и падают ($\angle 20-40^\circ$) вглубь массива.



Главные системы трещин в батолите, по Г. Клоосу

Выраженность различных типов трещин



Поперечные трещины (Q) – выглядят как трещины отрыва, в них обычно и переходят (прямые, с шероховатыми, неровными поверхностями). Часто вмещают кварцевые жилы, дайки аплитов, пегматитов и т.д.

Продольные трещины (S) – обычно менее выражены, короче поперечных, часто бывают минерализованы.

Пластовые трещины (L) – хорошо выражены в апикальных частях массивов, где располагаются конформно контактам плутона. Часто вмещают пологие дайки аплитов, обычно по ним формируется матрацевидная отдельность.

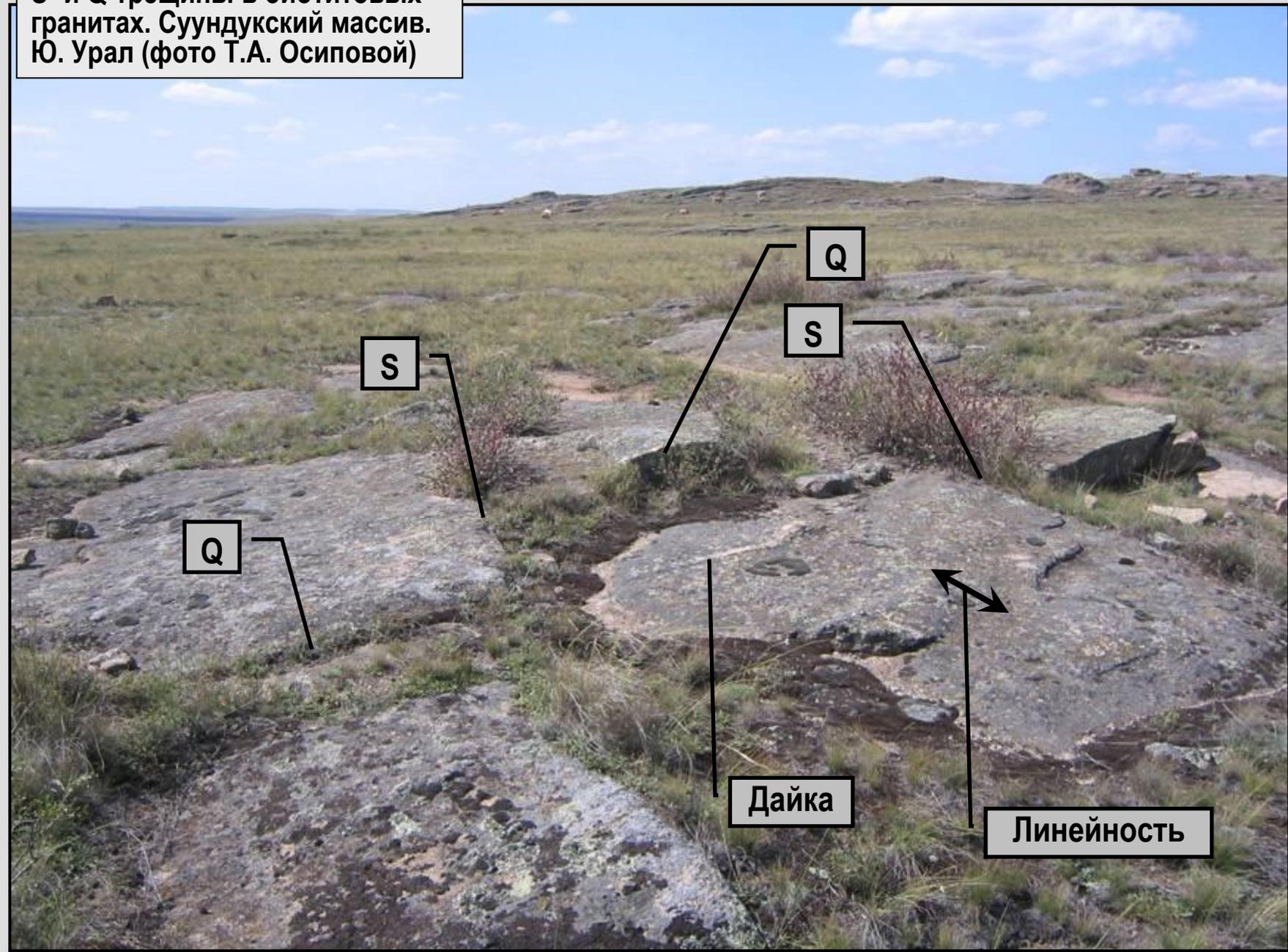
NB! На эродированных и деформированных массивах L-трещины бывают более крутыми!

Диагональные трещины (Str) – появляются не всегда, часто по ним развиваются маломощные зоны рассланцевания и зеркала скольжения.

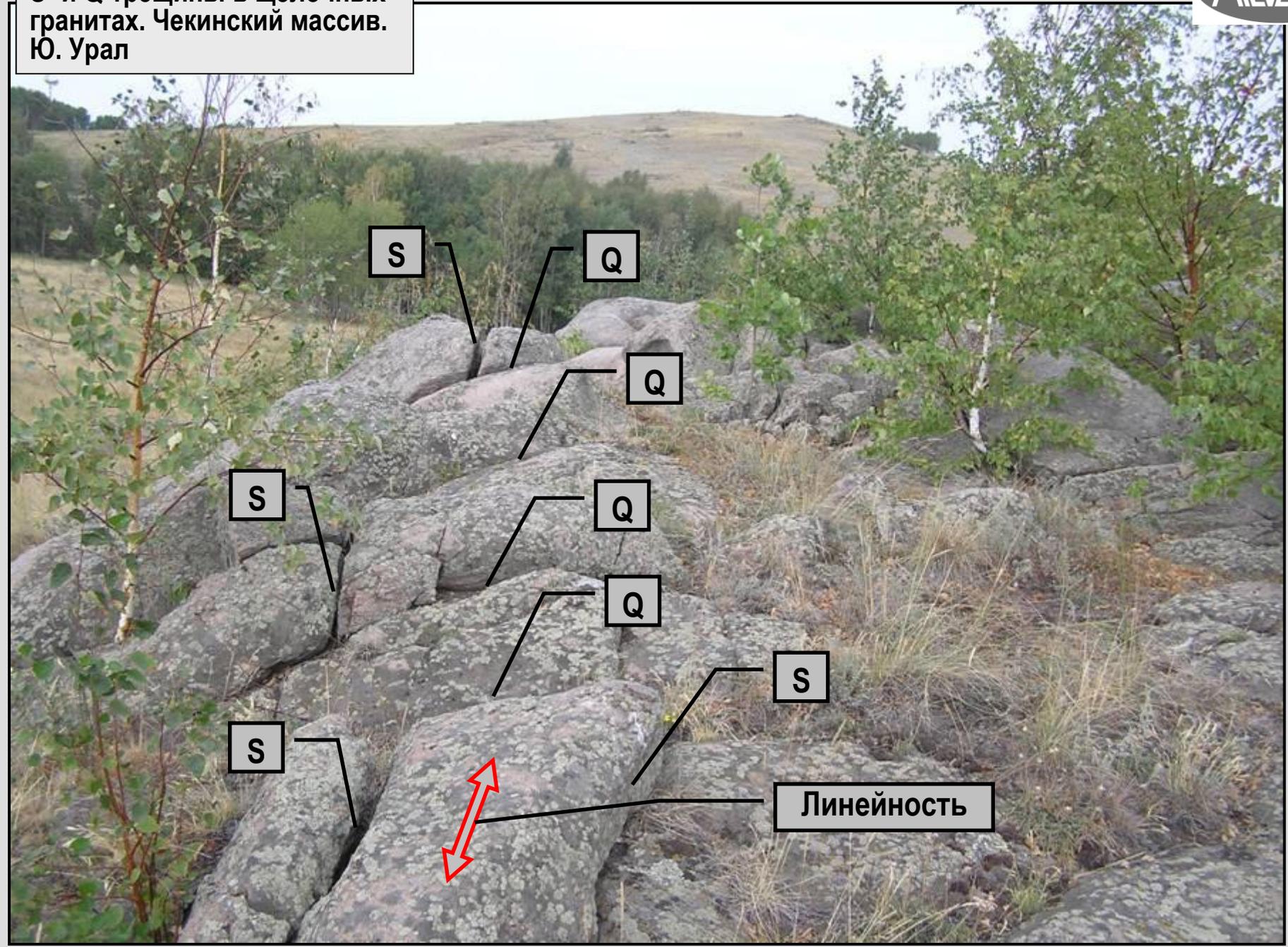
Краевые трещины (M) – иногда появляются в эндоконтактах массива, располагаются под углом к линейности и падают ($\angle 20-40^\circ$) вглубь массива. Они вмещают дайковые серии 2 этапа.

NB! Не совсем понятно, можно ли вообще относить диагональные и краевые трещины к прототектоническим.

S- и Q-трещины в биотитовых гранитах. Суундукский массив. Ю. Урал (фото Т.А. Осиповой)



S- и Q-трещины в щелочных гранитах. Чекинский массив. Ю. Урал



S

Q

Q

S

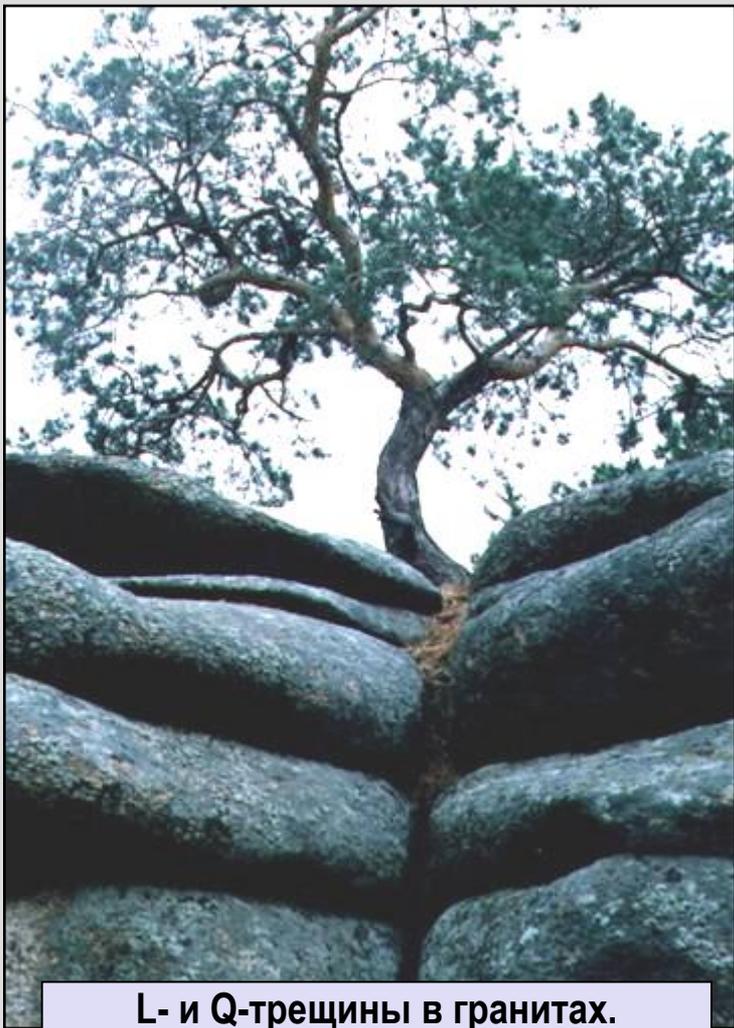
Q

Q

S

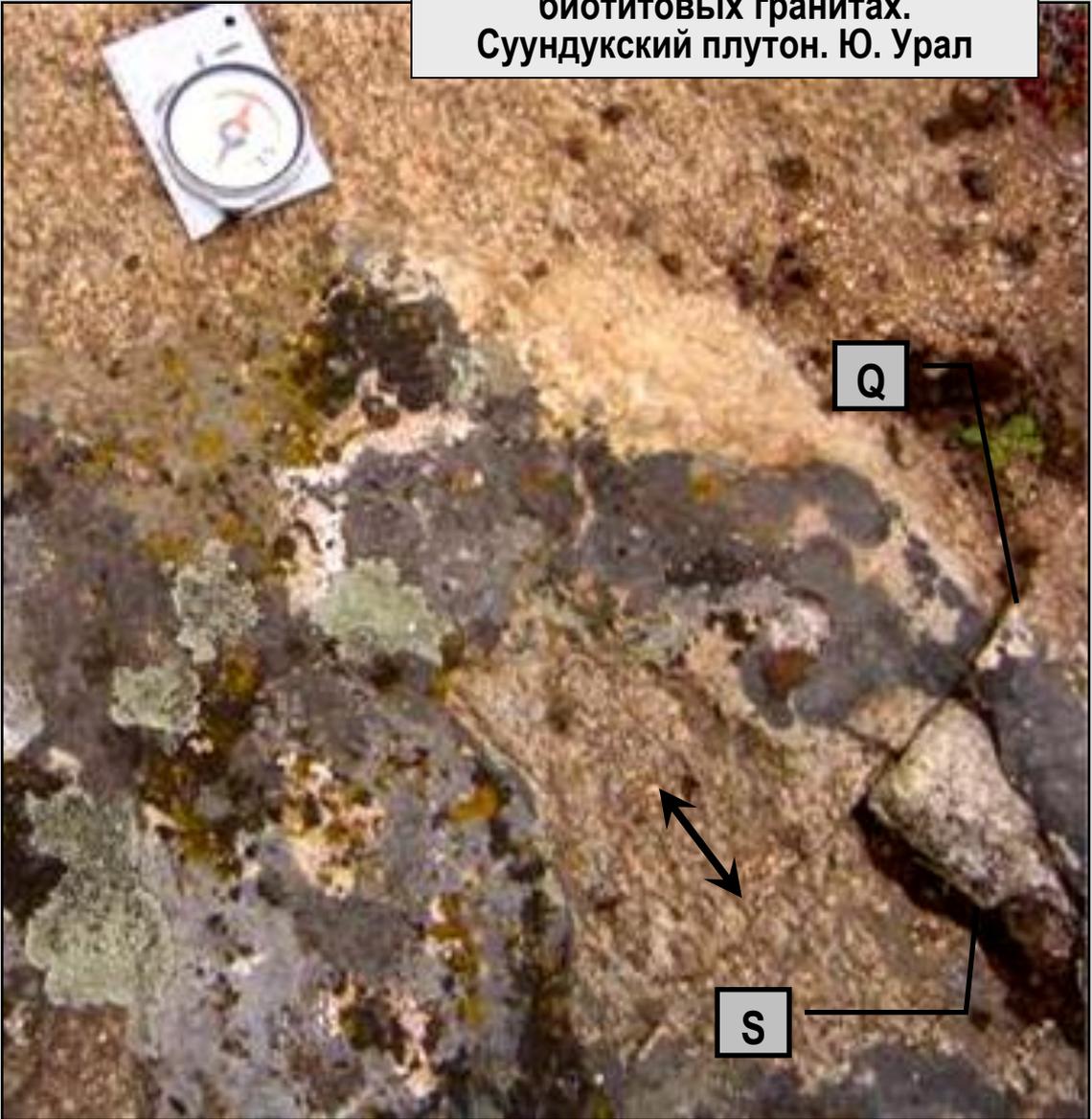
S

Линейность

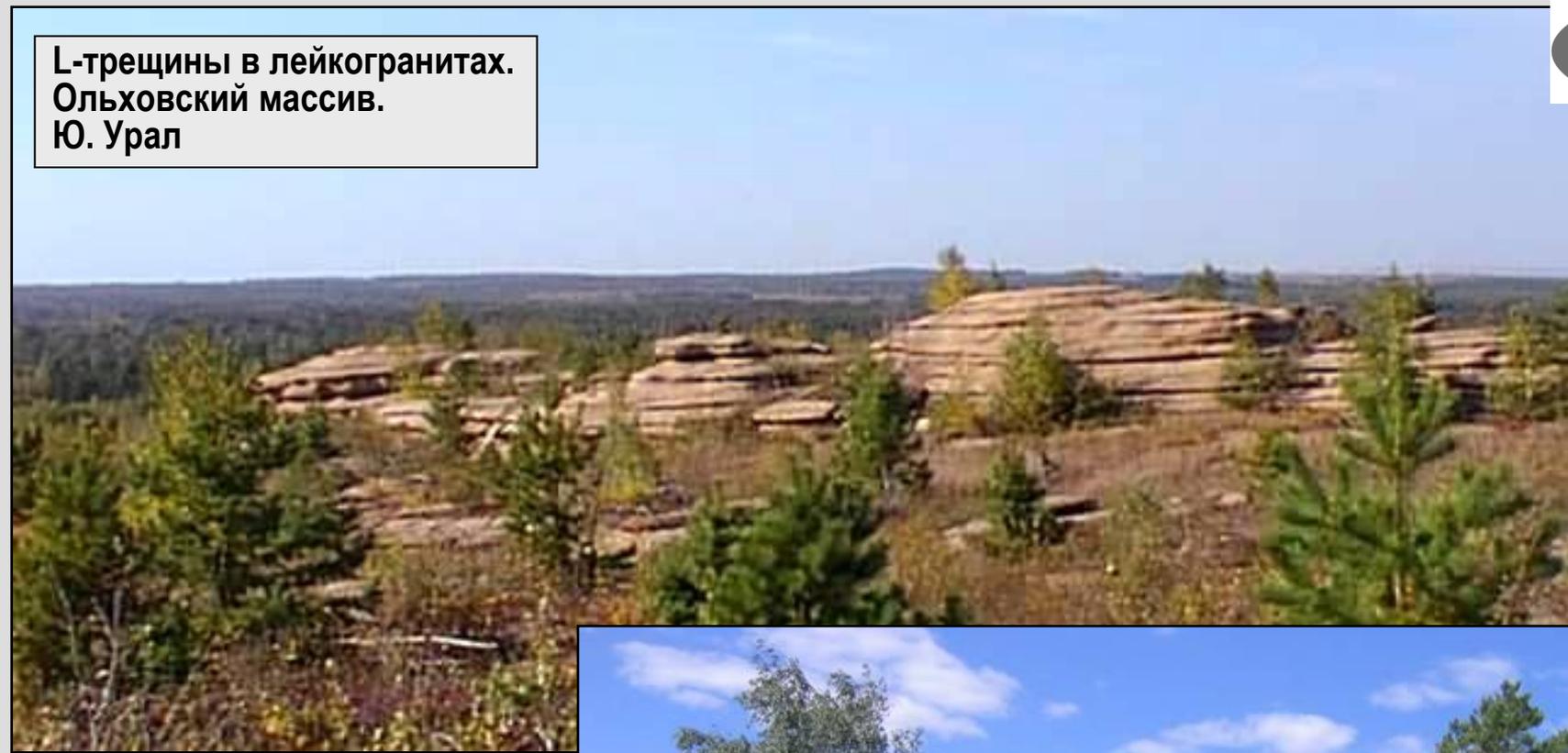


L- и Q-трещины в гранитах.
Степнинский плутон. Ю. Урал

Линейность и трещины Q и S в
биотитовых гранитах.
Суундукский плутон. Ю. Урал



**L-трещины в лейкогранитах.
Ольховский массив.
Ю. Урал**



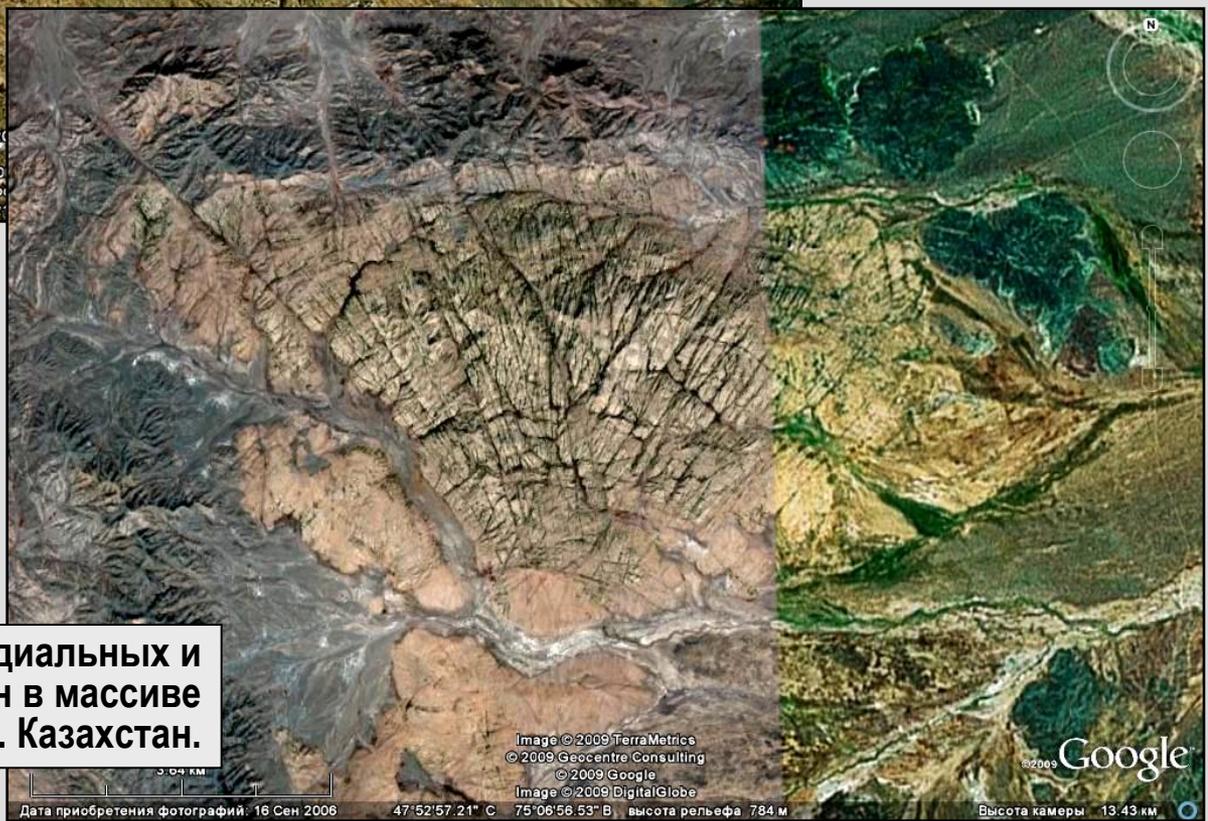
**L-трещины в лейкогранитах.
Суундукский плутон. Ю. Урал
(фото Т.А. Осиповой)**

← Тест №1
Как расположена
линейность?



Система Q-трещин и S-трещин
в массиве гранитов Ортау.
Ц. Казахстан.

Тест №2 →
Линейность вертикальна!
Какие это трещины?



Система радиальных и
концентрических трещин в массиве
аласкистов Майтас. Ц. Казахстан.

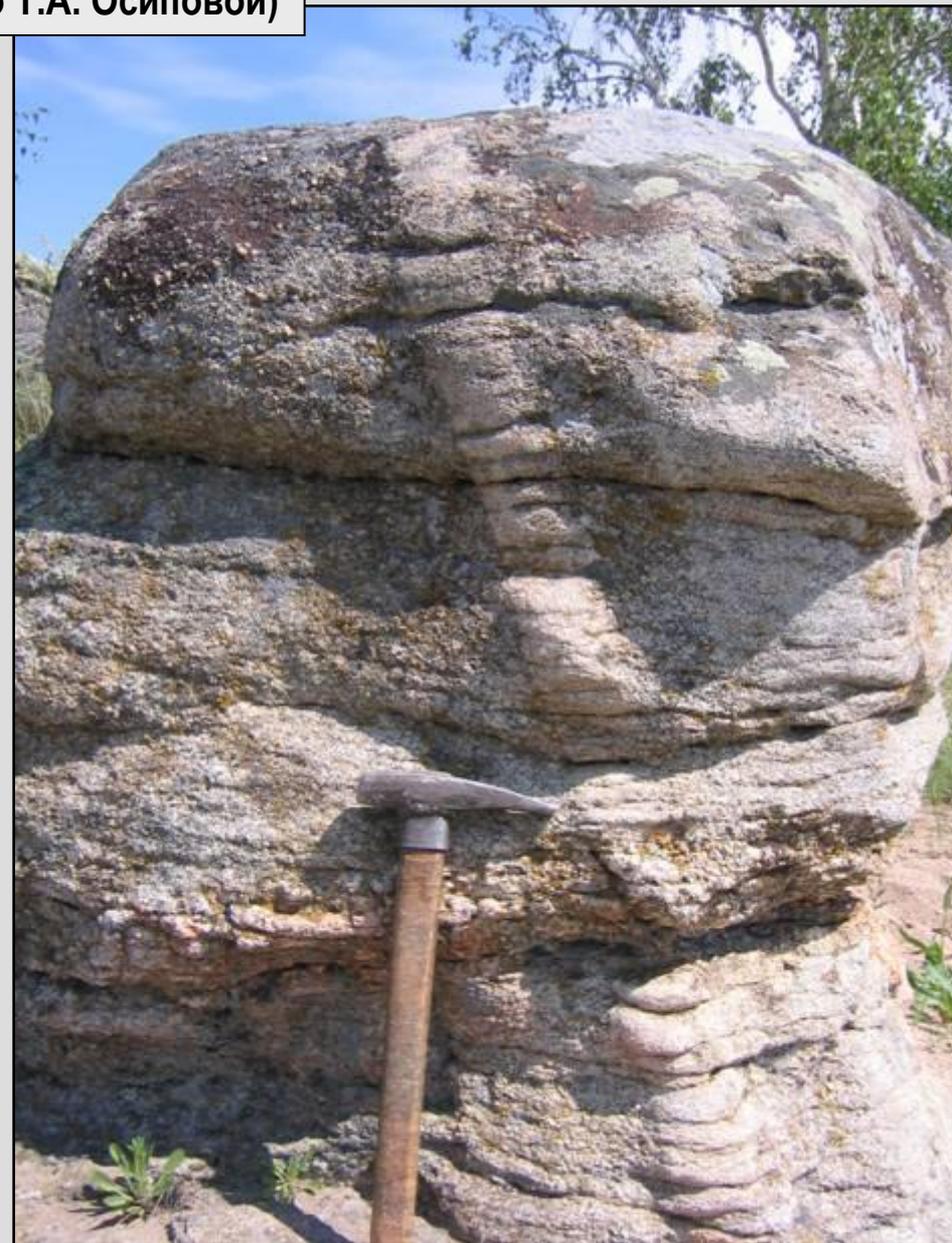
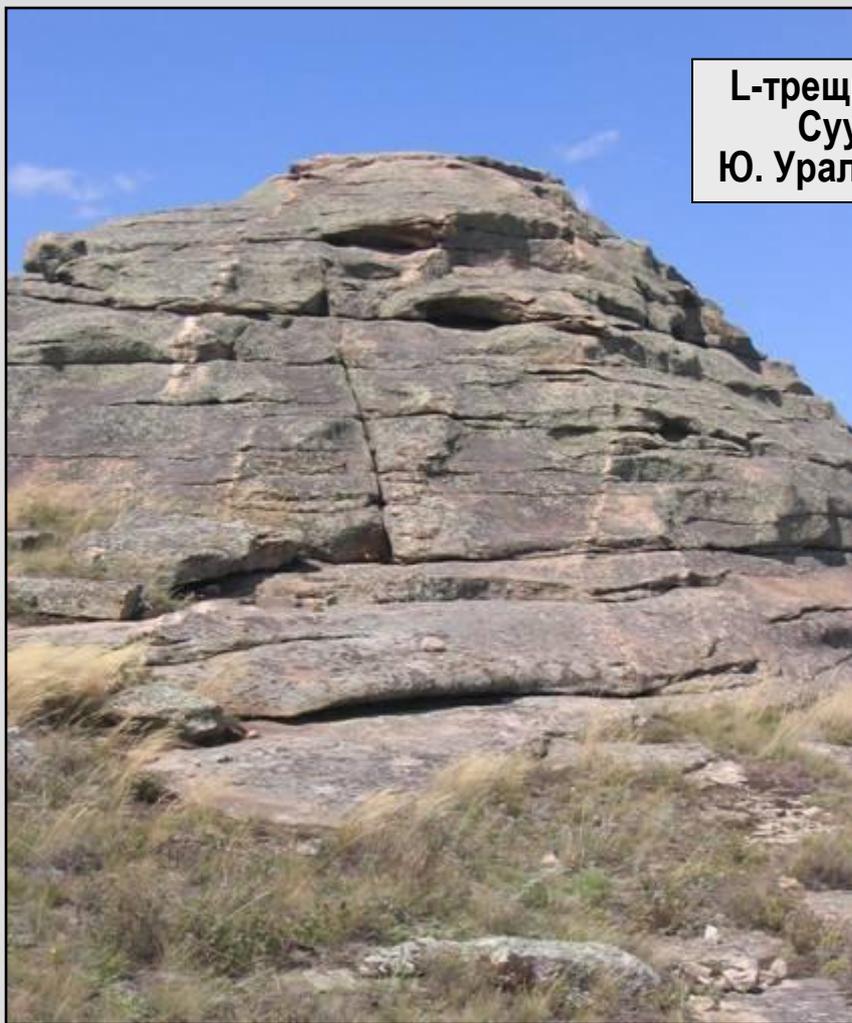


**L-трещины в гранитах.
Суундукский плутон. Ю.Урал
(фото Т.А. Осиповой)**



**L-трещины в лейкогранитах.
Степнинский плутон.
Южный Урал**

**L-трещины в лейкогранитах.
Суундукский плутон.
Ю. Урал (фото Т.А. Осиповой)**



Прототектонические трещины формируются на протяжении всего времени остывания плутона, иногда пересекая и дайки первого этапа

Формирование магматических массивов и тектонические движения



По отношению к тектоническим движениям все магматические массивы (с большой долей условности!) разделяют на **3 группы**:

1. "Предкинематические", или **доскладчатые** – интрузивные массивы, внедрившиеся в спокойной тектонической обстановке, как правило, это интрузивы с "активным" внедрением. Группа довольно условная, поскольку полностью исключить влияние тектонического фактора нельзя.

2. Синкинематические – массивы, формирование которых происходило в активных тектонических обстановках, а механизм формирования и морфология массивов определялись кинематикой и морфологией разрывных нарушений.

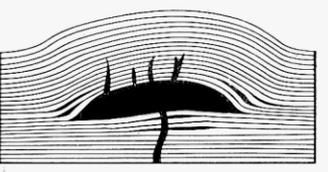
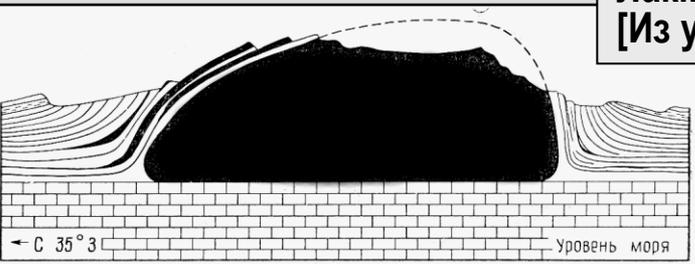
3. Посткинематические – массивы, возникшие в результате магматического замещения и, возможно, часть интрузивных массивов с неясными механизмами внедрения

NB! Одна из главных структурных проблем формирования магматических массивов – это **проблема пространства**. Её решение невозможно без понимания механизмов внедрения массивов.

1. Группа доскладчатых массивов

Доскладчатая, или "предкинематическая" природа массивов более или менее очевидна при горизонтальном, ненарушенном залегании вмещающих пород. Она также может быть установлена для силлообразных массивов и **после** того, как они были **деформированы**.

Лакколиты по М. Биллингсу
[Из учебника А.Е. Михайлова]



Кольдененский тоналитовый массив. Казахстан
[по К.Е. Дегтяреву, 2009]



2. Группа синкинематических массивов

Механизмы формирования протрузивных массивов

Протрузия, т.е. тектоническое перемещение (выжимание) "готовых" магматических пород из глубоких частей Земли в твердом виде с формированием протрузивных массивов (по определению это **синкинематические массивы с активным внедрением**)

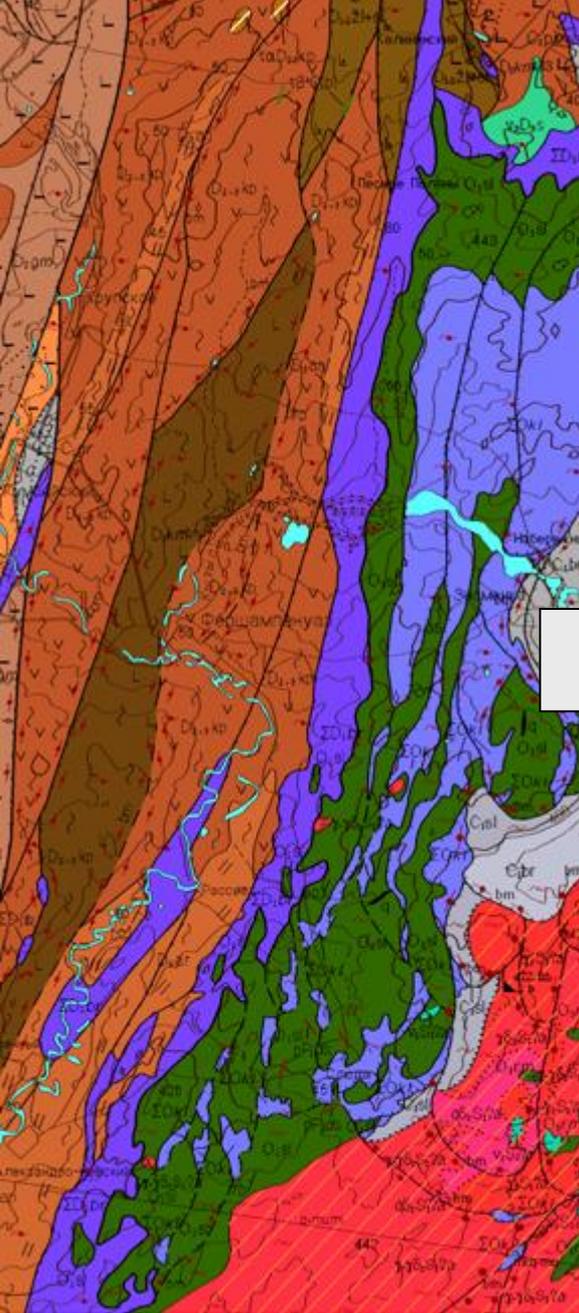
Для реализации протрузивного процесса необходимо:

во-первых, наличие обстановок с существенными тектоническими напряжениями, которые, как правило, возникают в зонах сочленения крупных блоков земной коры (**зоны крупных сдвигов и/или надвигов**),

во-вторых, наличие магматических пород с такими свойствами, которые способствуют легкому выдавливанию под давлением (**серпентинизированные ультрамафиты**).

Как правило, протрузивные массивы, располагающиеся в зонах крупных сдвигов, представляют собой круто стоящие линейные тела, которые часто распадаются на пучки субпараллельных маломощных линзовидных тел, проникающих даже в небольшие трещины.

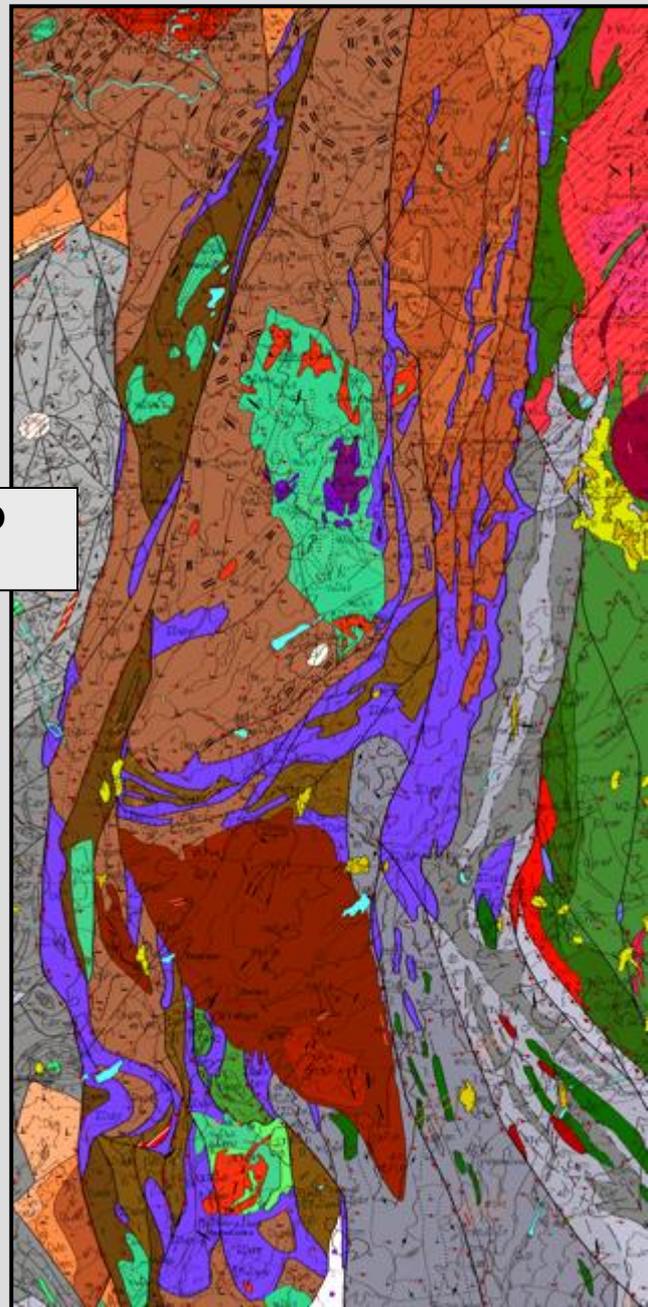
Такие массивы могут протягиваться с небольшими перерывами на сотни километров при очень небольшой мощности 0,5 – 3,0 км.



Наиболее распространенный вид серпентинитовых массивов крупных сдвиговых зон – линейные массивы с многочисленными апофизами и ответвлениями. Как правило, серпентиниты, расположенные в зонах сдвигов, очень интенсивно рассланцованы

Фрагменты Госгеолкарты-200 Южного Урала (В.М. Мосейчук и др., 2000 г.)

Серпентинитовые массивы сдвиговых зон часто распадаются на серии маломощных линзовидных тел самого разного размера (от первых километров до первых метров), с останцами вмещающих пород, часто пронизанных "жилками" и просечками серпентинитов



"жилками"

Фрагмент
Госгеолкарты-200
Ю. Урала

А

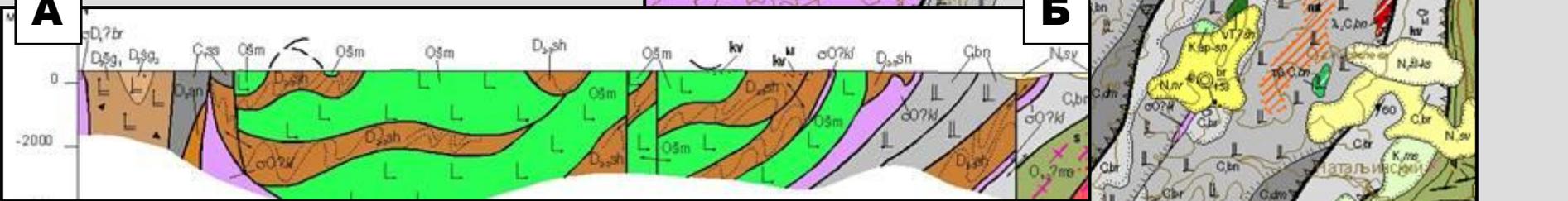
Б

Часто серпентинитовые массивы участвуют в строении крупных аллохтонов, в которых они слагают нижнюю часть, играя роль своеобразной смазки для перемещения аллохтона. Куликовский массив подстилает крупный аллохтон мощностью от 6 до 8 км

Куликовский
синформный массив

А

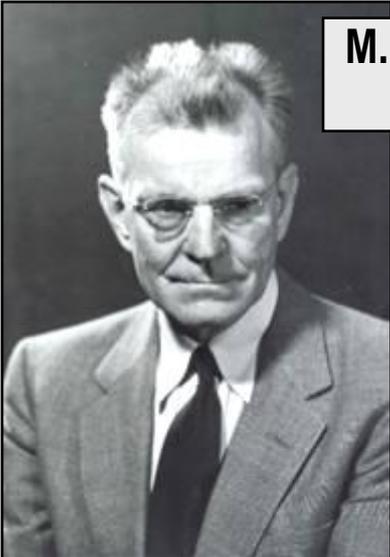
Б



Проблема пространства и способов перемещения

При протрузии серпентиниты выдавливаются в зоны сдвигов и далее – в зоны надвигов. Если с выдавливанием в зоны сдвигов особых проблем не возникает – в них всегда сеть "щели", участки локального растяжения, то с зонами надвигов всё не так просто. При движении им приходится преодолевать силу трения, которая возрастает с увеличением нагрузки, т.е. веса перемещаемого блока.

M. King Hubbert
(1903-1989)



Согласно расчетам М.К. Хубберта скользящий блок мощностью **1 км** не может иметь длину более **8 км**, если на него действует толкающая сила и **коэффициент трения** имеет обычное значение (от 0,6 до 1,0). Он просто не сдвинется с места. То же самое действительно для блока мощностью **0,5 км** и длиной больше **18,5 км**. Блок длиной **больше 30 км** вообще не сможет сдвинуться при любой мощности!

Необходимым условием перемещения надвигающегося блока является разгрузка давления, т.е. появление силы, компенсирующей силу тяжести. Такая разгрузка может происходить под воздействием **флюидного давления** – порового давления воды, которой, как известно, в серпентине **много** – $Mg_6 [Si_4O_{10}] (OH)_8$

NB! Считается, что поровое давление возникает за счет освобождения связанной воды при повышении температуры

Механизмы формирования аллохтонных магматических массивов



По механическому воздействию на вмещающие породы выделяют 2 типа массивов:

1. Массивы активного внедрения – при внедрении они деформируют вмещающие породы.

2. Массивы пассивного внедрения – при внедрении они не деформируют вмещающие породы.

Интрузивные массивы активного и пассивного внедрения имеют разные механизмы заполнения магматических камер.

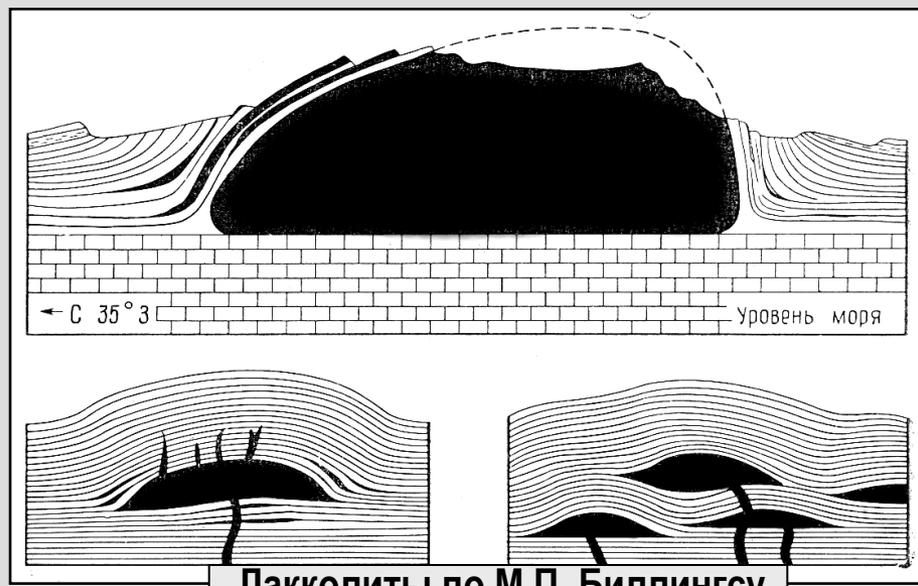
Внедрение – перемещение из глубоких частей Земли в виде магматического расплава (**аллохтонные массивы**)

Для реализации процесса внедрения (**интрузии**) необходимо наличие расплава (**магмы**) и места, куда эта магма могла бы интродировать. Поскольку магма, как и всякая жидкость, всегда движется в сторону пониженного давления, для появления интрузивного массива необходимы условия перепада давлений. Такие условия чаще всего создаются при формировании различных разломов

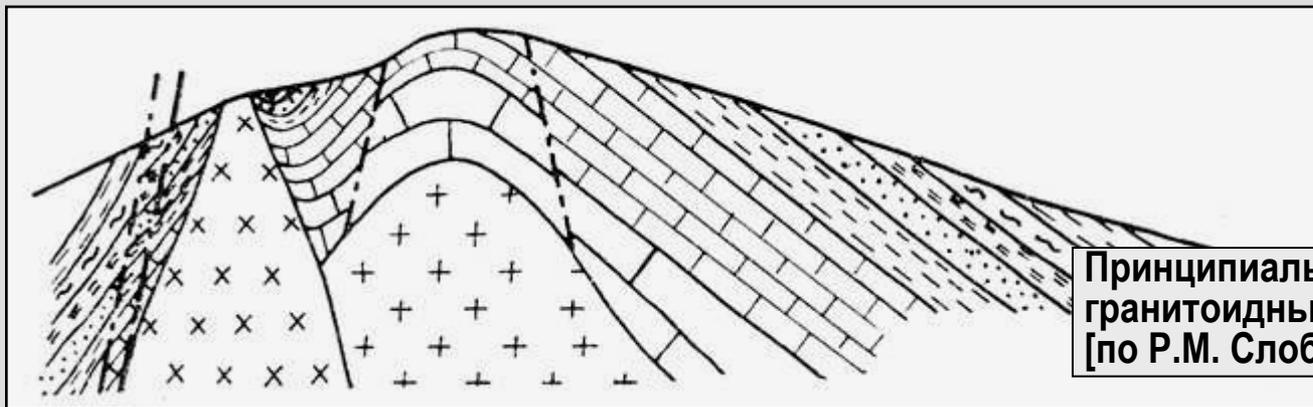
1. Интрузивные массивы активного внедрения

Магма выдавливается из глубины, из зоны высокого давления в приповерхностные зоны с невысоким литостатическим давлением, где чаще встречаются мелкие массивы активного внедрения.

При формировании, например, лакколита вмещающие слоистые толщи *над ним* приподнимаются, образуя складку, поэтому форма лакколита зависит от реологических свойств вмещающих пород. Под лакколитом породы чаще всего остаются *недеформированными*.



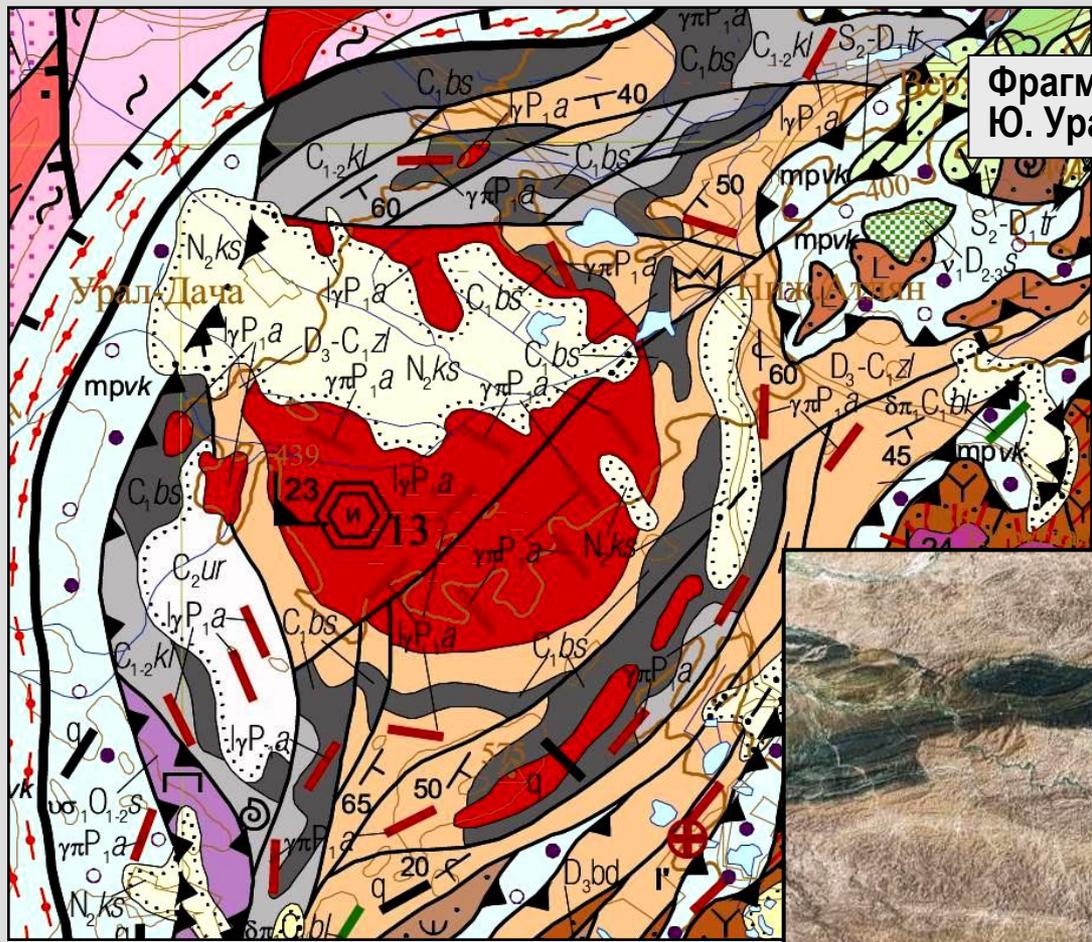
Лакколиты по М.П. Биллингсу.
[Из учебника А.Е. Михайлова]



Принципиальная схема строения гранитоидных массивов Кавминвод
[по Р.М. Слободскому, 1971]

Проблема пространства для таких интрузивов решается **раздвиганием слоев** вмещающих толщ

Фрагмент Госгеолкарты-200
Ю. Урала Аулов, 2005)



Кольцевая синклиналь
вокруг Атлянского массива
лейкогранитов

Треугольная складка,
зажатая между массивами

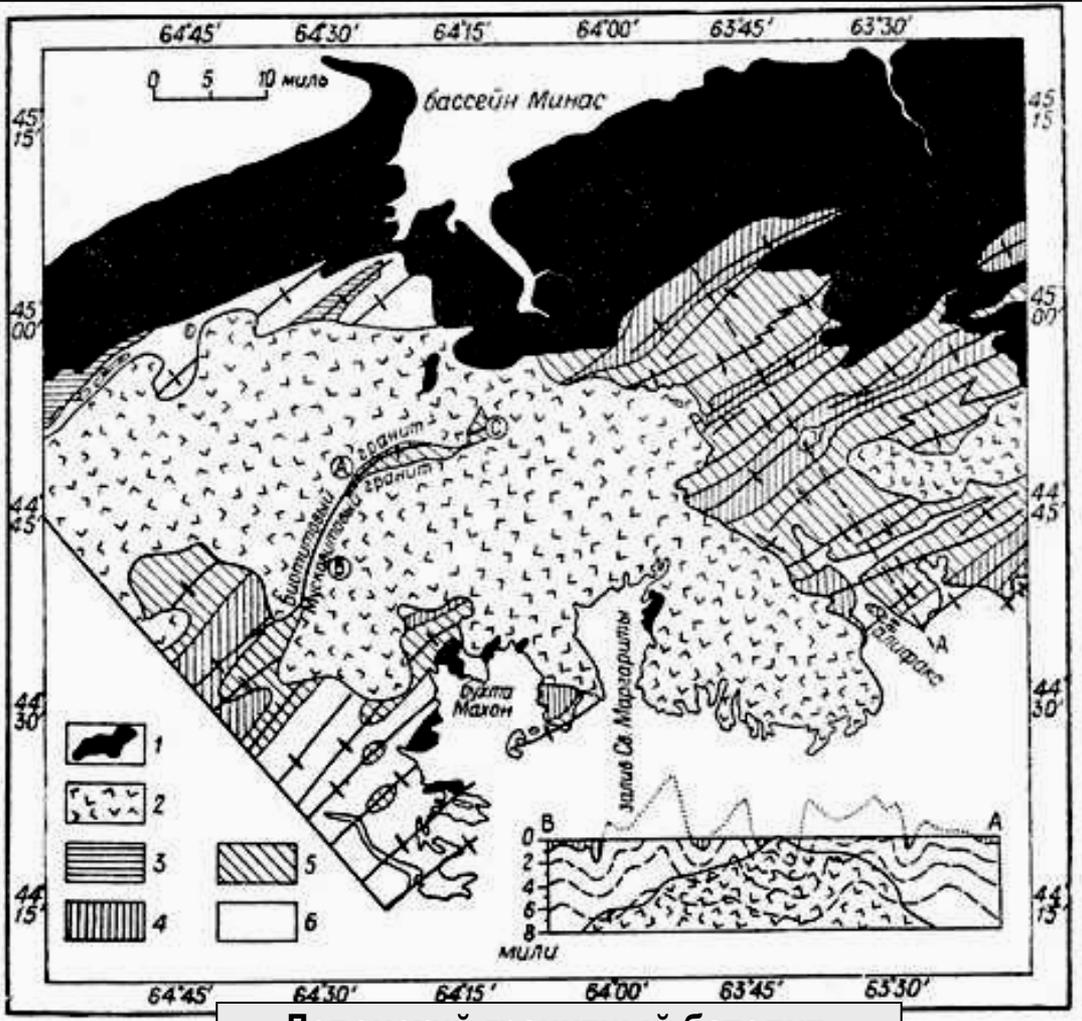
Гранитные массивы
активного внедрения.
3. Гиндукуш. Google



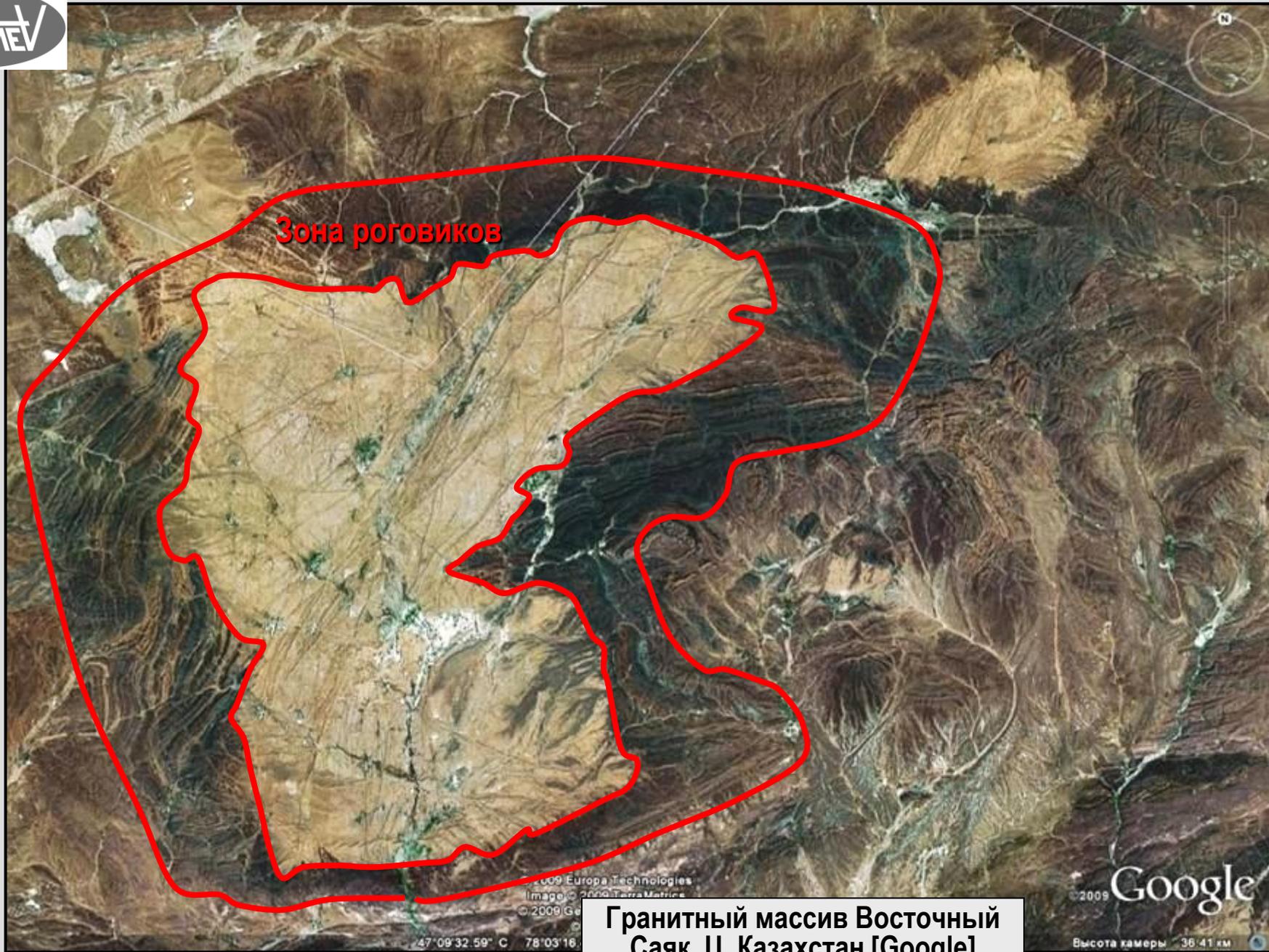
2. Интрузивные массивы пассивного внедрения

Признаки массивов пассивного внедрения:

- четкие интрузивные контакты, резко секущие по отношению к структуре вмещающих толщ;
- отчетливые зоны экзоконтактовых изменений (роговики, скарны);
- отчетливые зоны эндоконтактов (мелкозернистые оторочки, зоны закалки);
- выраженная прототектоника;
- обычно штокообразная морфология;
- часто приуроченность к палеокальдерам



Девонский гранитный батолит.
Новая Шотландия [по Баддингтону,
из Р.М. Слободского, 1971]



Зона роговиков

Гранитный массив Восточный Саяк. Ц. Казахстан [Google]

Зона роговиков

Гранитный штوك
Восточный Коунрад.
Ц. Казахстан [Google]



Один из возможных механизмов пассивного внедрения массивов –
заполнение пустот палеокальдер после того, как "собственная" магма, питающая вулкан, будет оттуда удалена в процессе извержений



Палеокальдера

Гранитный массив Майтас.
Ц. Казахстан. Google

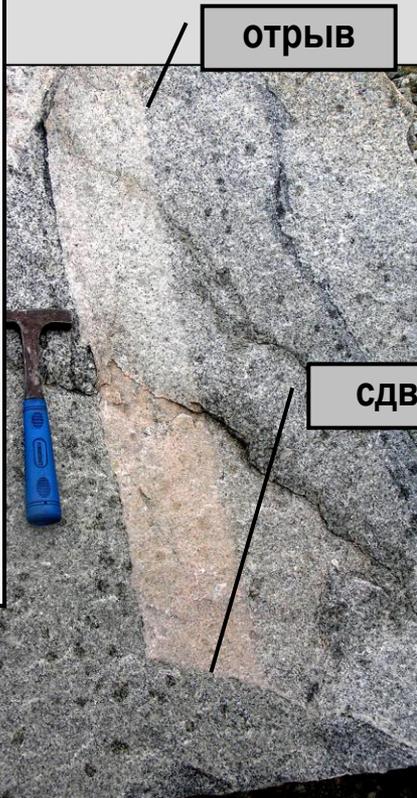
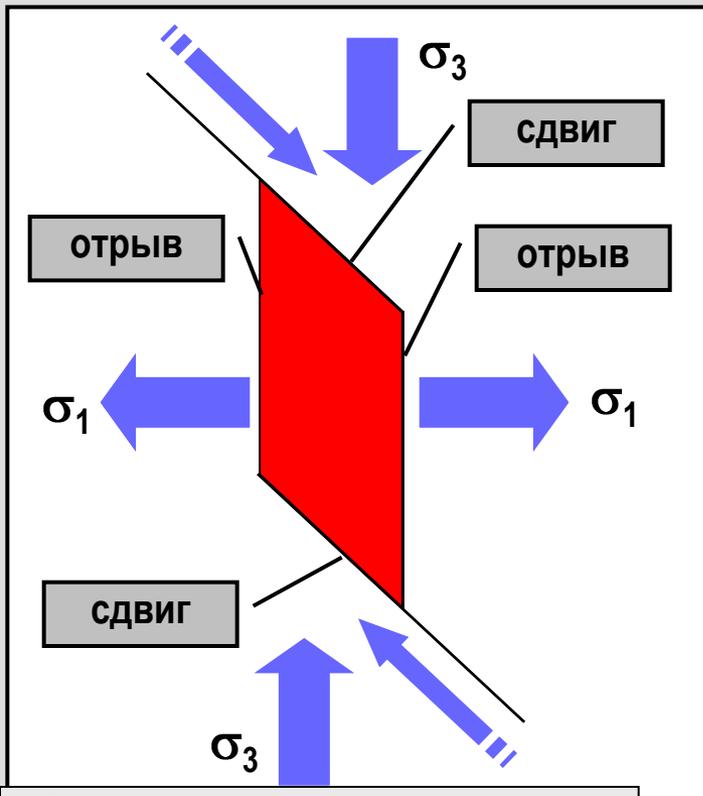
Механизмы внедрения интрузивов

Исследования последних десятилетий показывают, что тектоника и магматизм связаны не только "в принципе", "вообще", на глобальном уровне, но и самым непосредственным образом, на уровне локальном – т.е. морфология и кинематика разрывных зон непосредственно влияют на характер магматической деятельности и форму интрузивных массивов. Наиболее распространены синкинематические интрузивы, сформированные в зонах **локального присдвигового растяжения**.

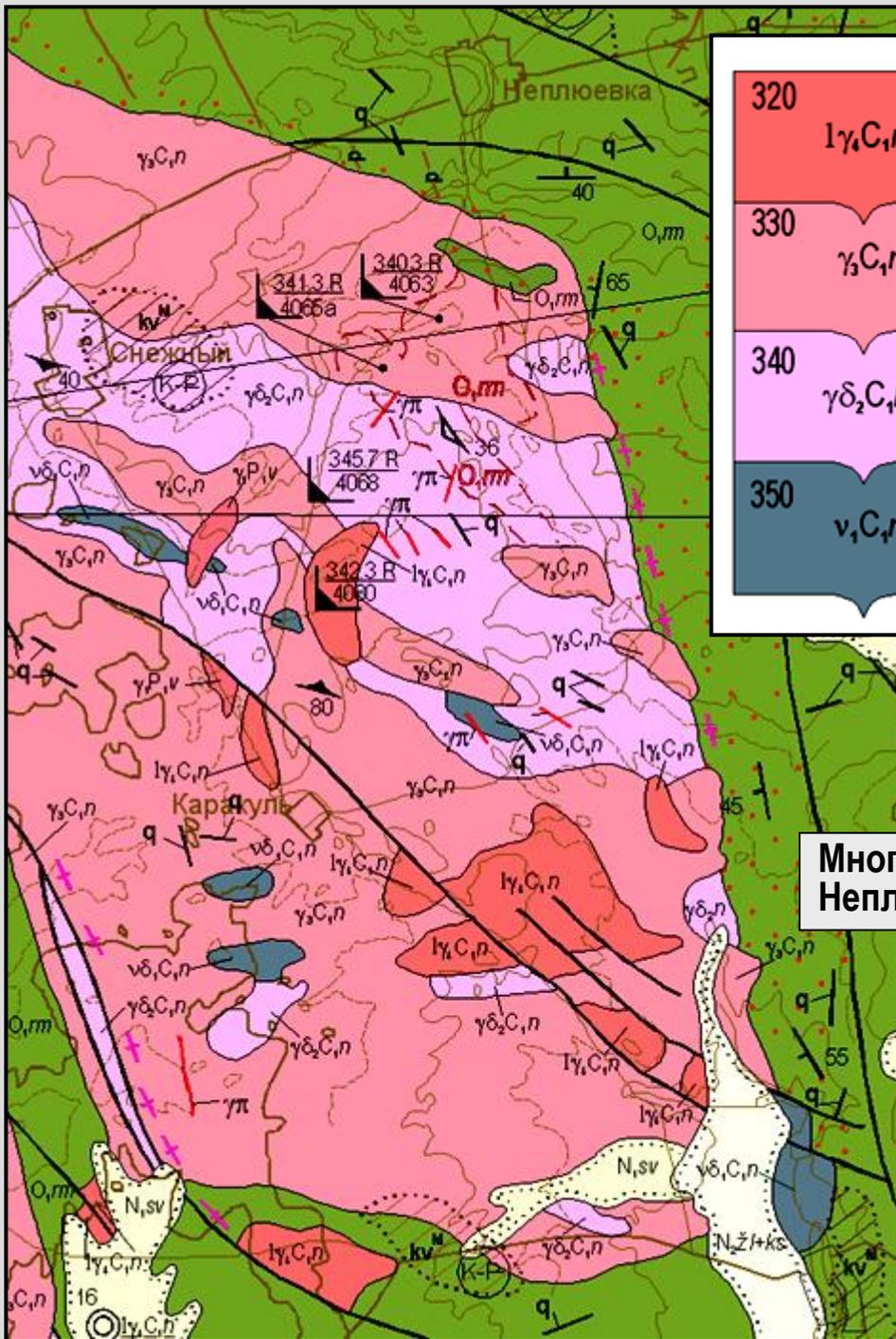
Простейшие структуры присдвигового растяжения в рамках модели Кулона-Андерсона имеют в плане форму **параллелограмма**:

границы диагональных ориентировок в них обычно представлены **сдвигами**, субмеридиональные границы представлены в них **отрывами**, **сбросами** или **флексурами**

Проблема пространства для магматических тел решается в этом случае естественным образом: оно создается за счет растяжения в локальных присдвиговых зонах.



Дайка гранитов в гранодиоритах. Сыростанский массив. Ю. Урал

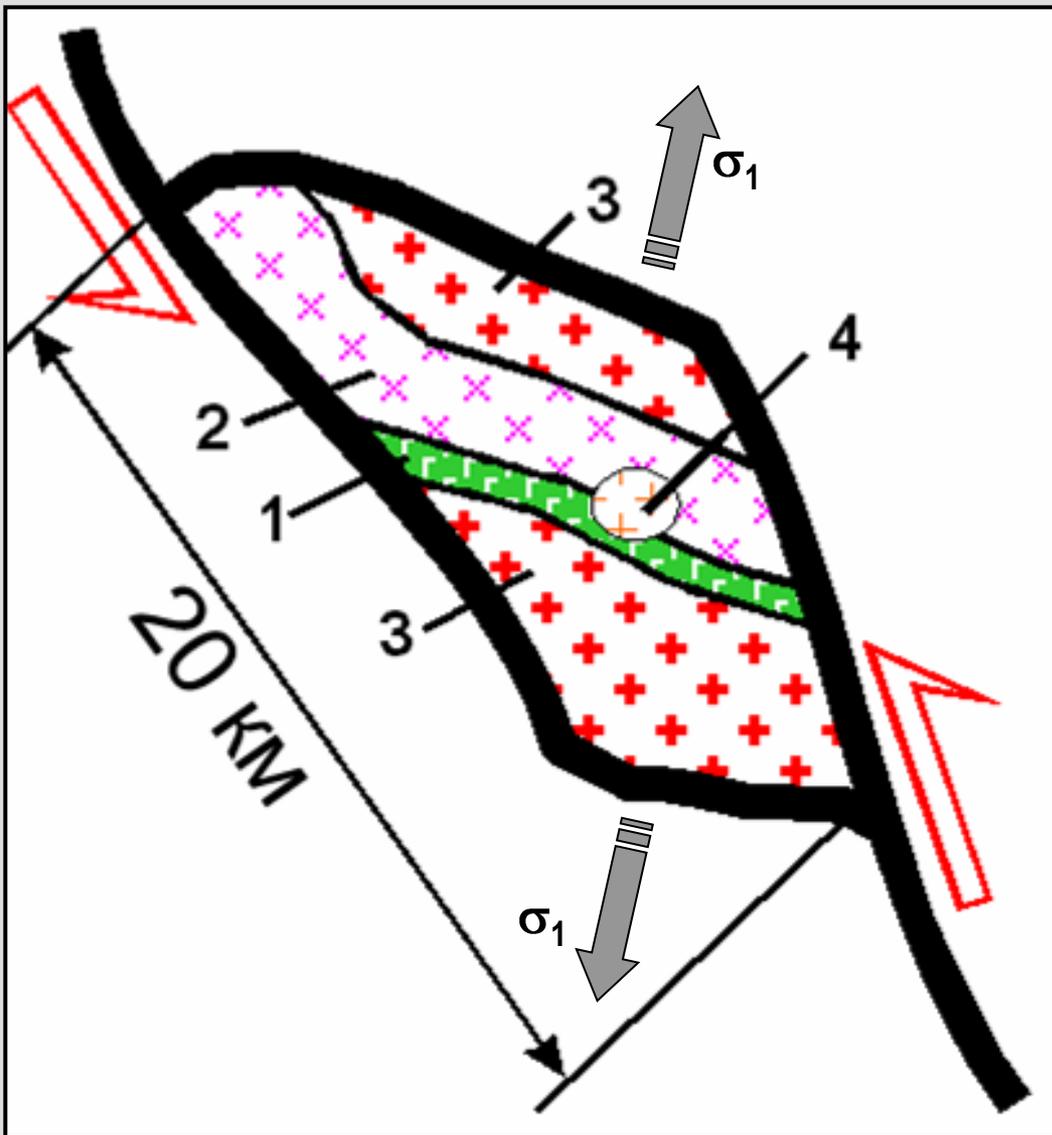


320	$I \gamma_1 C_1 n$	Четвертая фаза. Лейкограниты мелкозернистые до среднезернистых аплитовидные
330	$\gamma_3 C_1 n$	Третья фаза. Адамеллиты низко- и высококалиевые, среднезернистые, слабопорфировидные
340	$\gamma \delta_2 C_1 n$	Вторая фаза. Гранодиориты, кварцевые диориты биотитовые, роговообманково-биотитовые среднезернистые
350	$v_1 C_1 n$	Первая фаза. Габбро, диориты мелкозернистые

**Многофазный раннекаменноугольный
Неплюевский массив. Ю. Урал**



Кинематическая модель формирования Неплюевского массива



1 фаза – внедрение габброидов по начальному отрыву в зоне левого северо-западного сдвига;

2 фаза – внедрение гранодиоритов по отрыву вдоль северного контакта габбро (345,7 млн. лет);

3 фаза – симметричное внедрение гранитов по внешним контактам габбро и гранодиоритов (341,65 млн. лет);

4 фаза – внедрение лейкогранитов в ядре структуры (340,3 млн. лет).

Амплитуда сдвига – 20 км, время формирования плутона – около 6 млн. лет.
Средняя скорость смещения по сдвигу около 0,3 см в год!

ВВ! Формирование массива происходит в обстановке чистого сдвига!

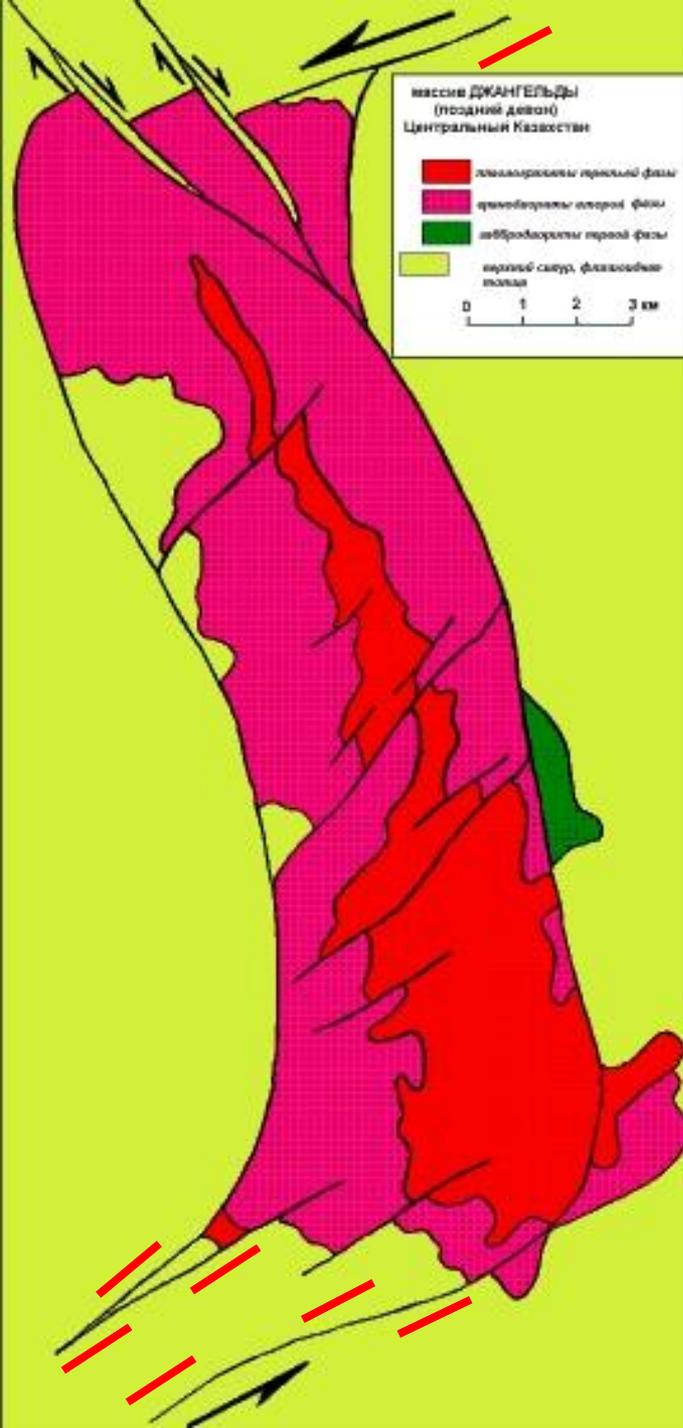
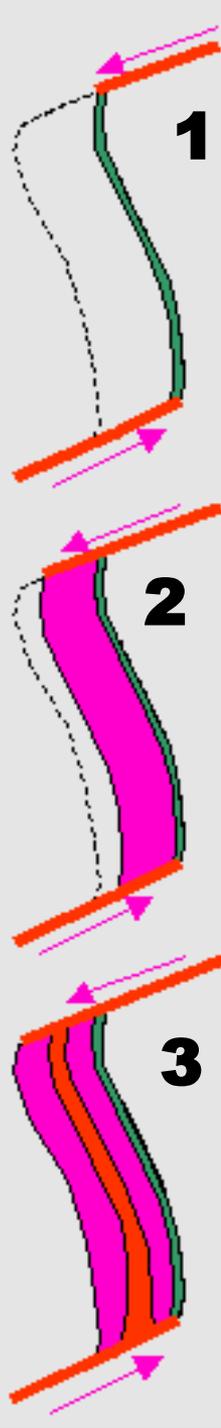


Схема строения и кинематическая модель формирования Джангельдинского плутона (Ц. Казахстан)



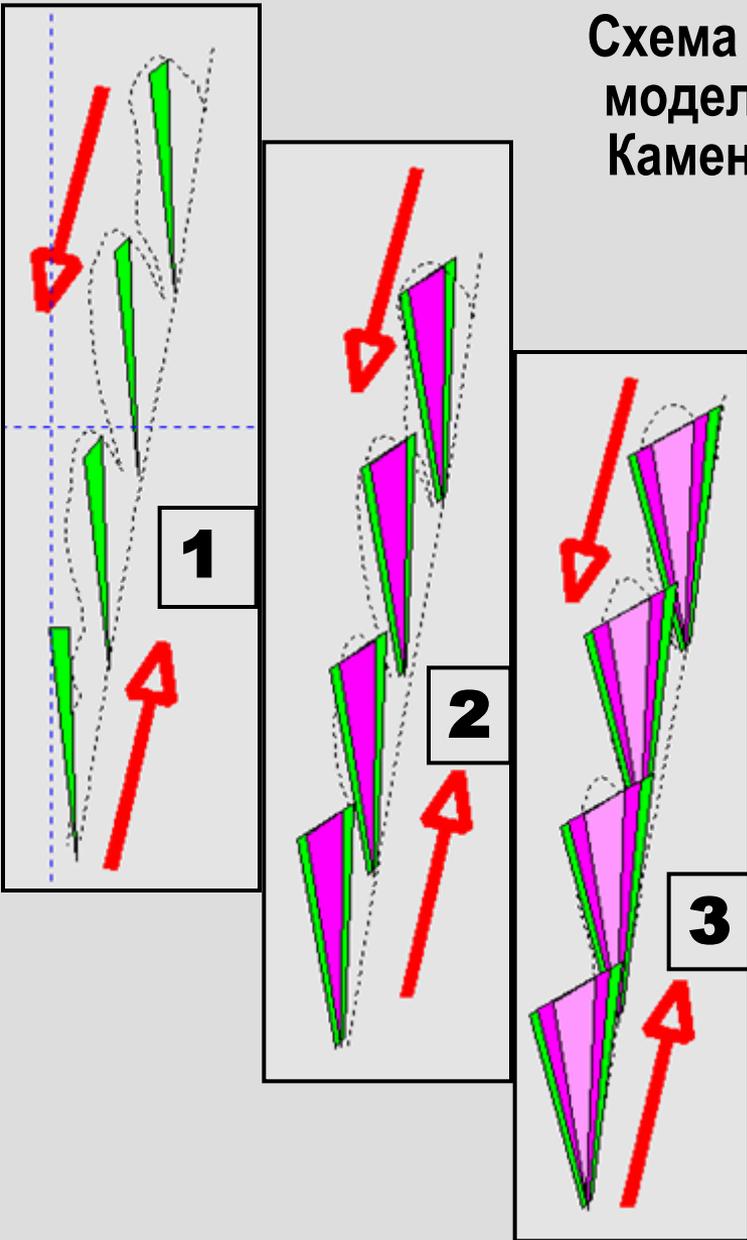
1 фаза – внедрение габброидов по начальному отрыву

2 фаза – внедрение гранодиоритов по обновленному отрыву

3 фаза – внедрение гранитов по новому отрыву внутри тела гранодиоритов

NB! Формирование массива происходит в обстановке чистого сдвига!

Схема строения и кинематическая модель формирования массивов Каменской группы (Южный Урал)

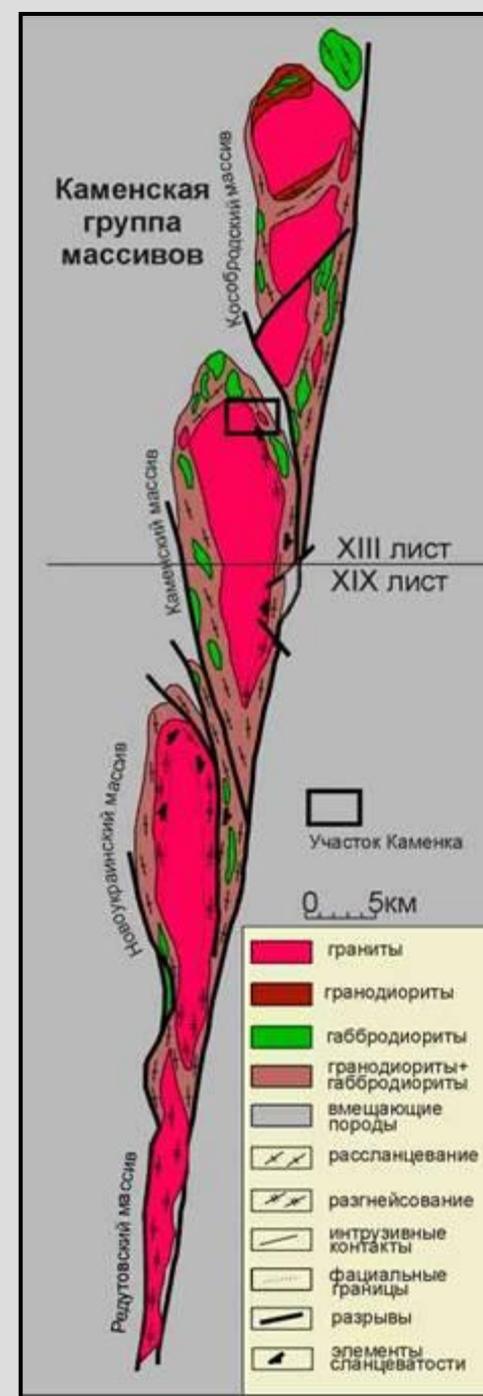


1 фаза – внедрение габброидов по начальным отрывам (Т);

2 фаза – внедрение гранодиоритов по отрывам внутри тел габброидов;

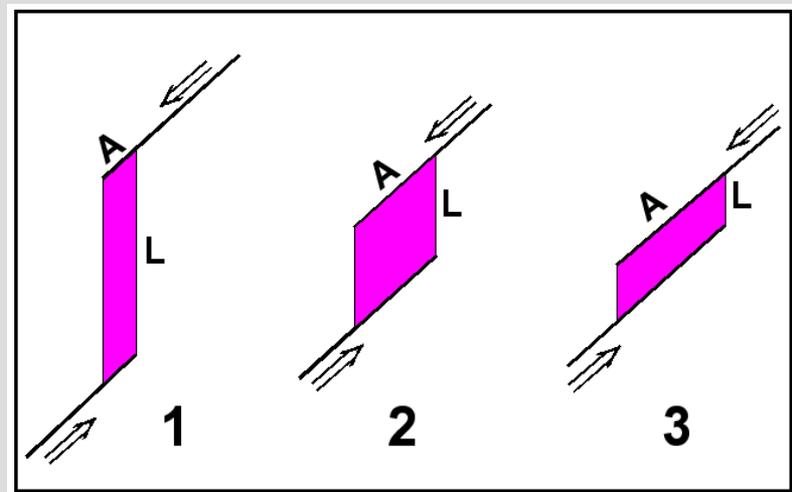
3 фаза – внедрение плагиогранитов по отрывам внутри тел гранодиоритов

ВВ! Формирование массивов происходит в обстановке простого сдвига!



Структуры присвигового растяжения, содержащие магматические тела, называются "сдвиговыми магматическими дуплексами" (СМД)

1. Типы СМД по соотношению длин сторон

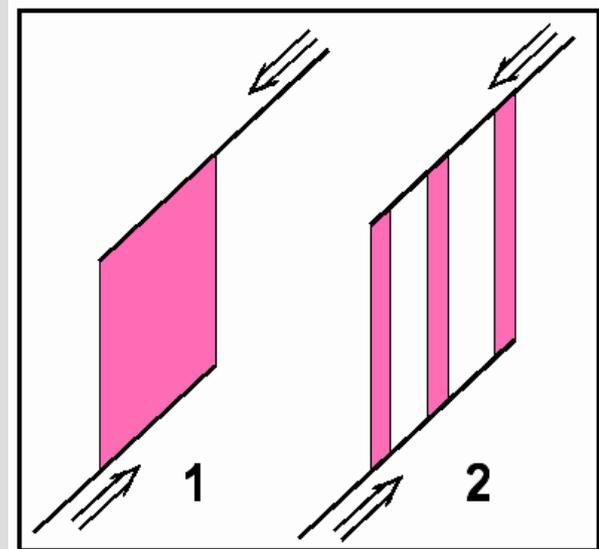


A – амплитуда сдвига;
 L – ширина зоны отстояния кулисных сдвигов.
 1 – поперечно-линейные ($A \ll L$);
 2 – изометричные ($A \cong L$);
 3 – продольно-линейные ($A \gg L$)
 Морфология зависит только от геометрии

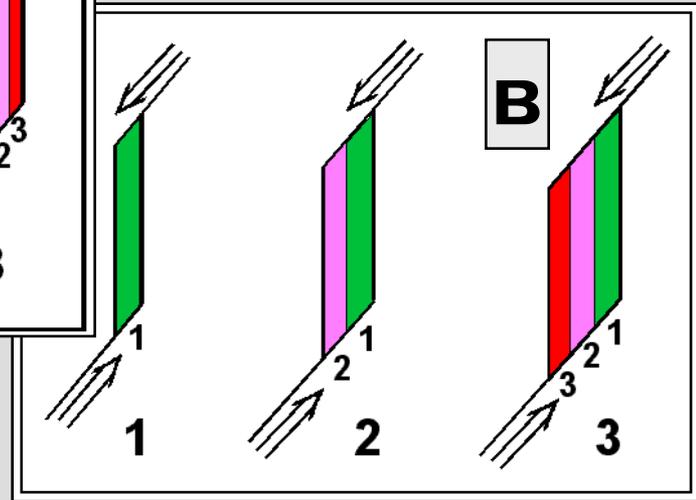
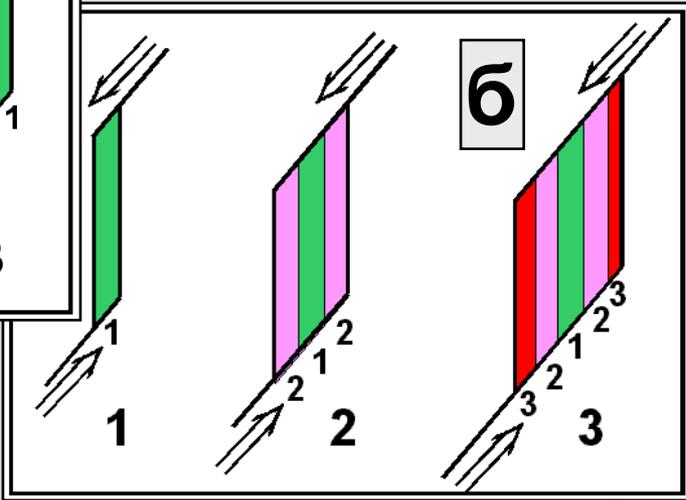
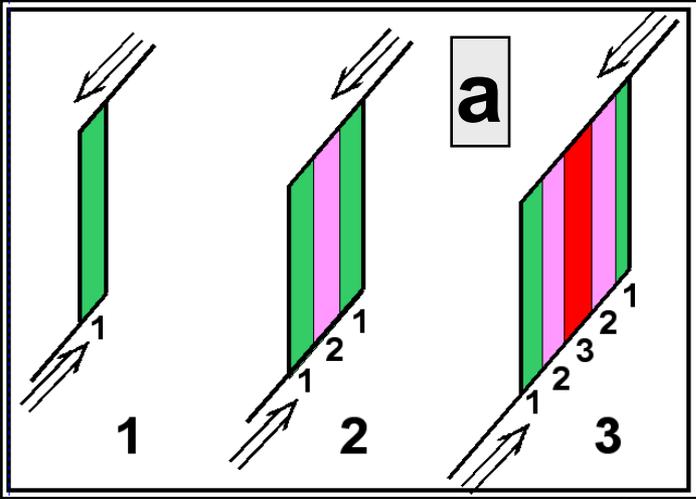
2. Типы СМД по количеству зон отрыва

1 – одинарные;
 2 – множественные

Тип СМД зависит от реологических свойств вмещающих пород, скорости сдвига и первичной сети разрывов



Типы СМД по характеру зональности



а, б – симметричные:
 а – *центростремительный*,
 б – *центробежный*;
 в – *асимметричный (последовательный)*
 г – *смешанный*

Цифрами обозначены фазы внедрения: **1** - ранняя, **2** - средняя, **3** - поздняя, мелкие цифры обозначают расположение пород различных фаз внедрения в пределах дуплекса.

Тип СМД зависит прежде всего от соотношения скоростей смещения по сдвигу и застывания интрузива. При высокой скорости смещения массив не успевает окончательно застыть и следующий отрыв происходит внутри его, а при низкой скорости смещения отрывы формируются по контактам массива.

Морфологическая классификация сдвиговых магматических дуплексов

