

# Структурная геология и геологическое картирование

## Лекция № 18

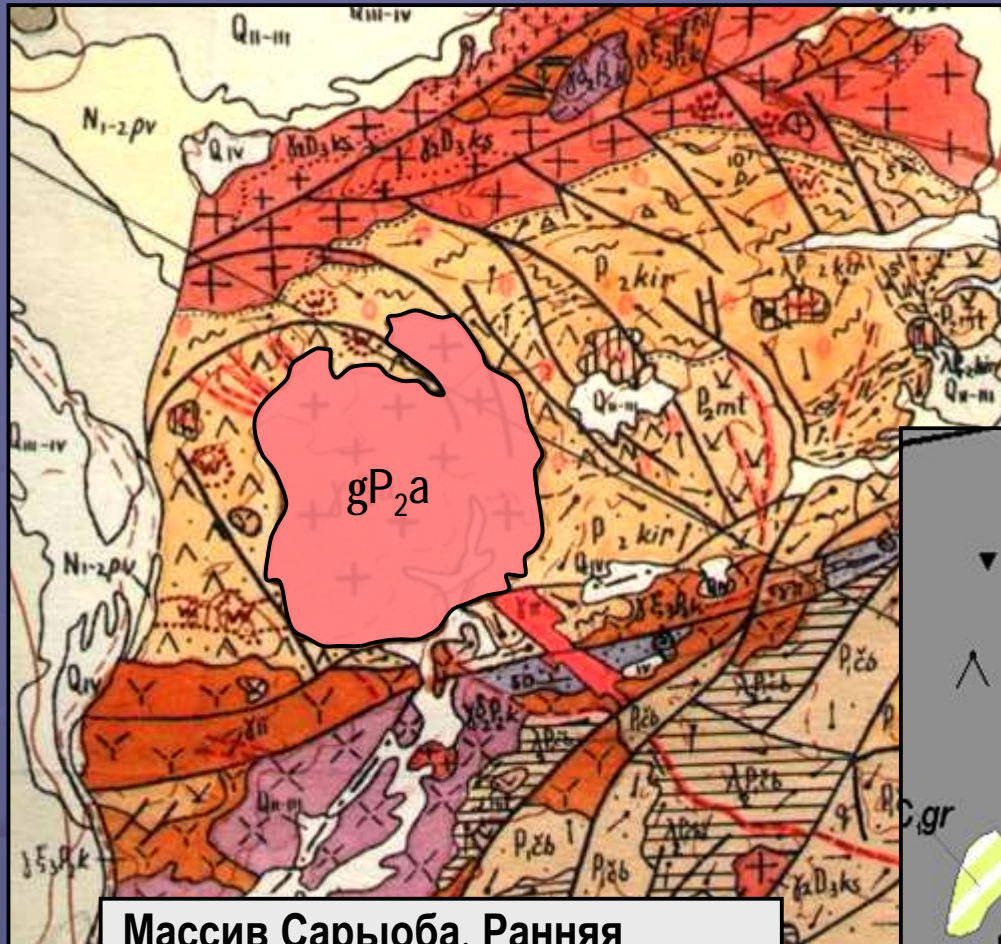
### «Строение плутонических комплексов»

#### *Лекция 2*

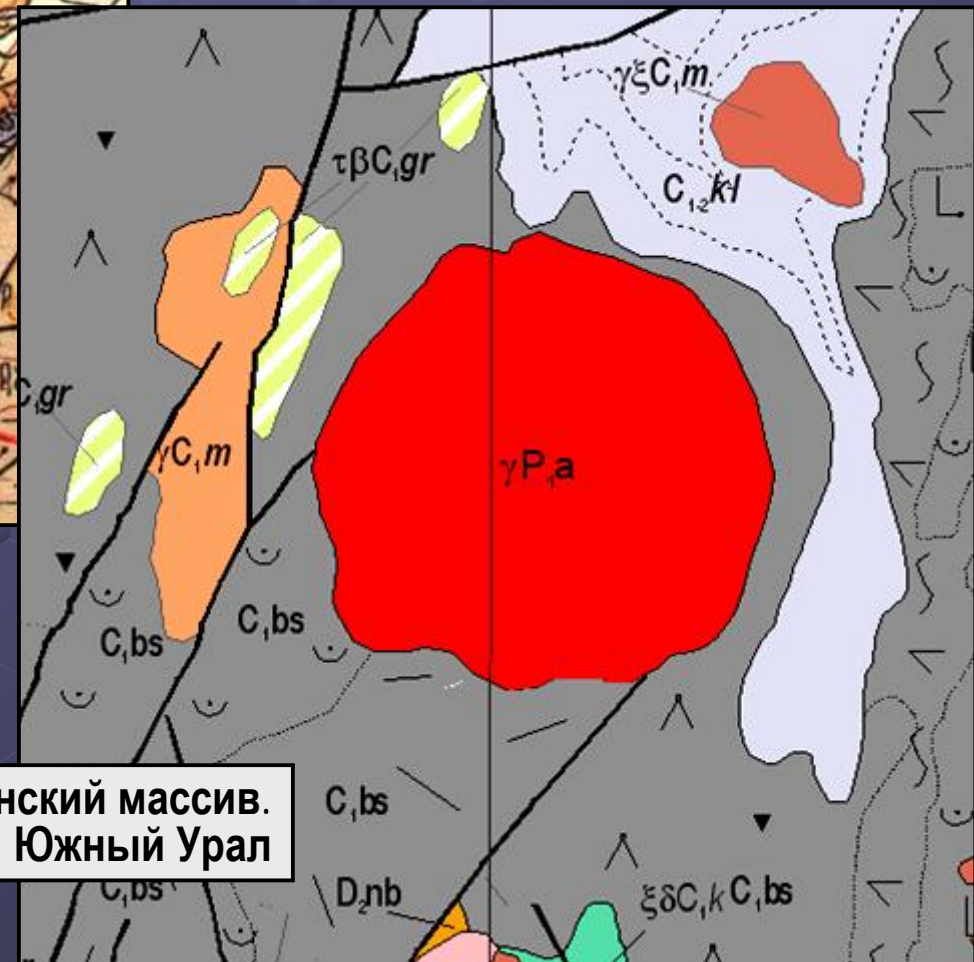
## Типы аллохтонных интрузивов (по сложности строения)

- **Простые однофазные** – образованы в результате одноактного внедрения магмы, имеют более или менее однородный состав и строение
- **Дифференцированные однофазные** – образованы в результате одноактного внедрения магмы, но имеют значительные структурно-вещественные неоднородности (за счет кристаллизационной дифференциации, ликвации, смешения магм и т.д.)
- **Сложные многофазные** – образованы в результате нескольких последовательных внедрений порций магмы близкого или различного состава, породы разных фаз внедрения имеют друг с другом интрузивные контакты
- **Сложные полигенные и полихронные** – образованы в результате неоднократного внедрения порций магмы, часто со значительными интервалами во времени; в их составе участвуют породы двух или более плутонических комплексов, часто относящихся даже к разным магматическим формациям и разным тектоническим циклам

# 1. Простые однофазные массивы

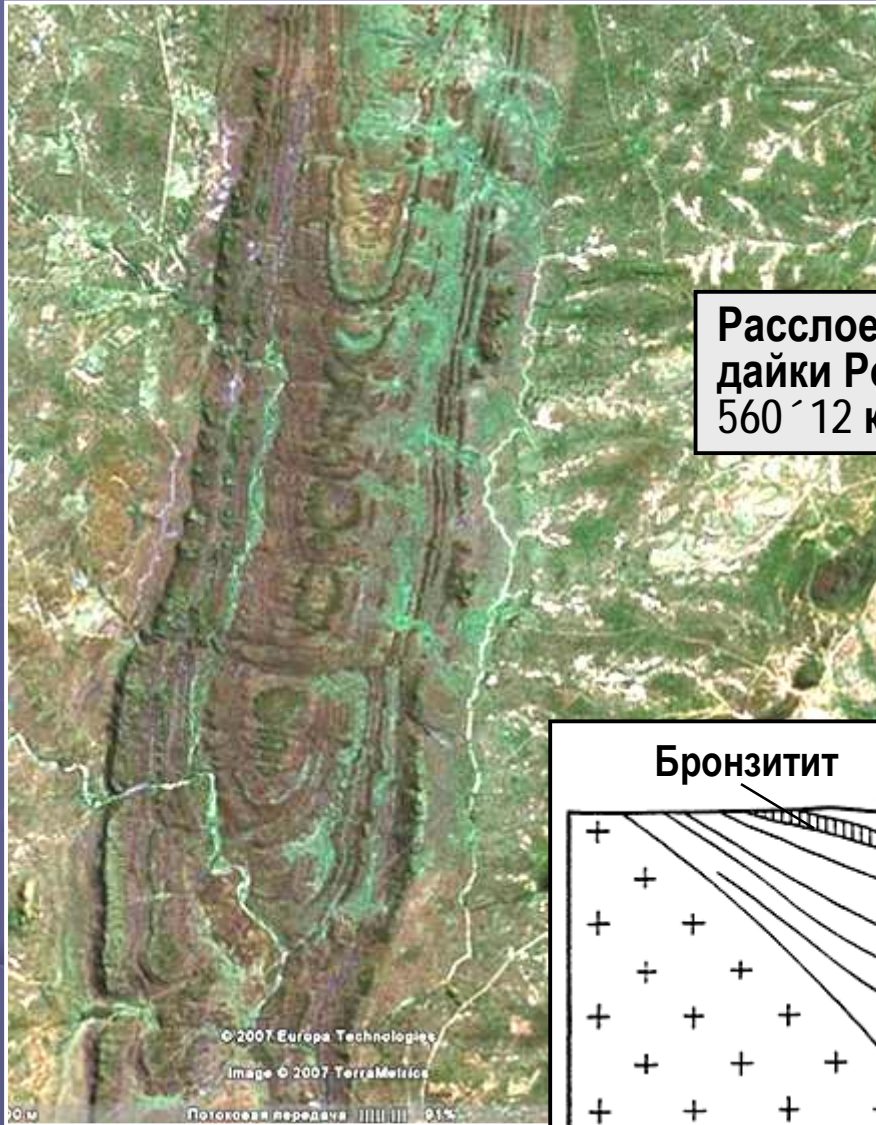


Массив Сарьюба. Ранняя пермь. Центральный Казахстан



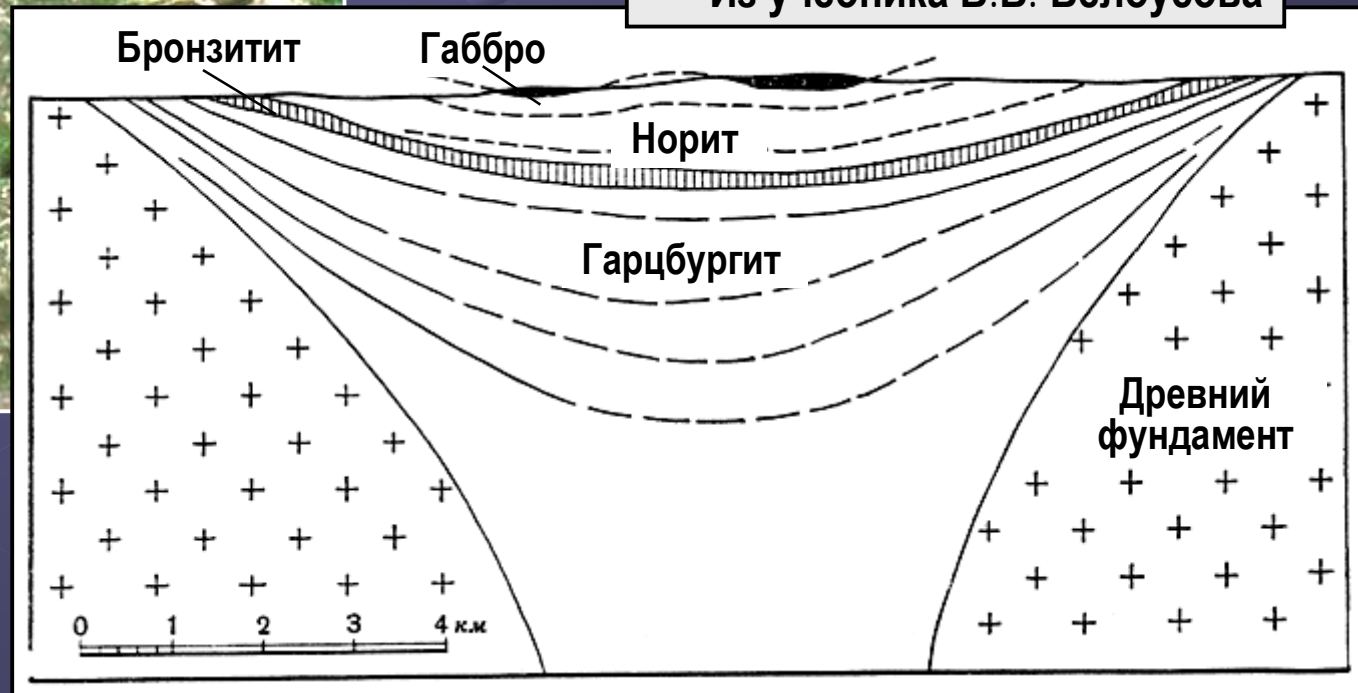
Просторненский массив. Ранняя пермь. Южный Урал

## 2. Дифференцированные однофазные массивы

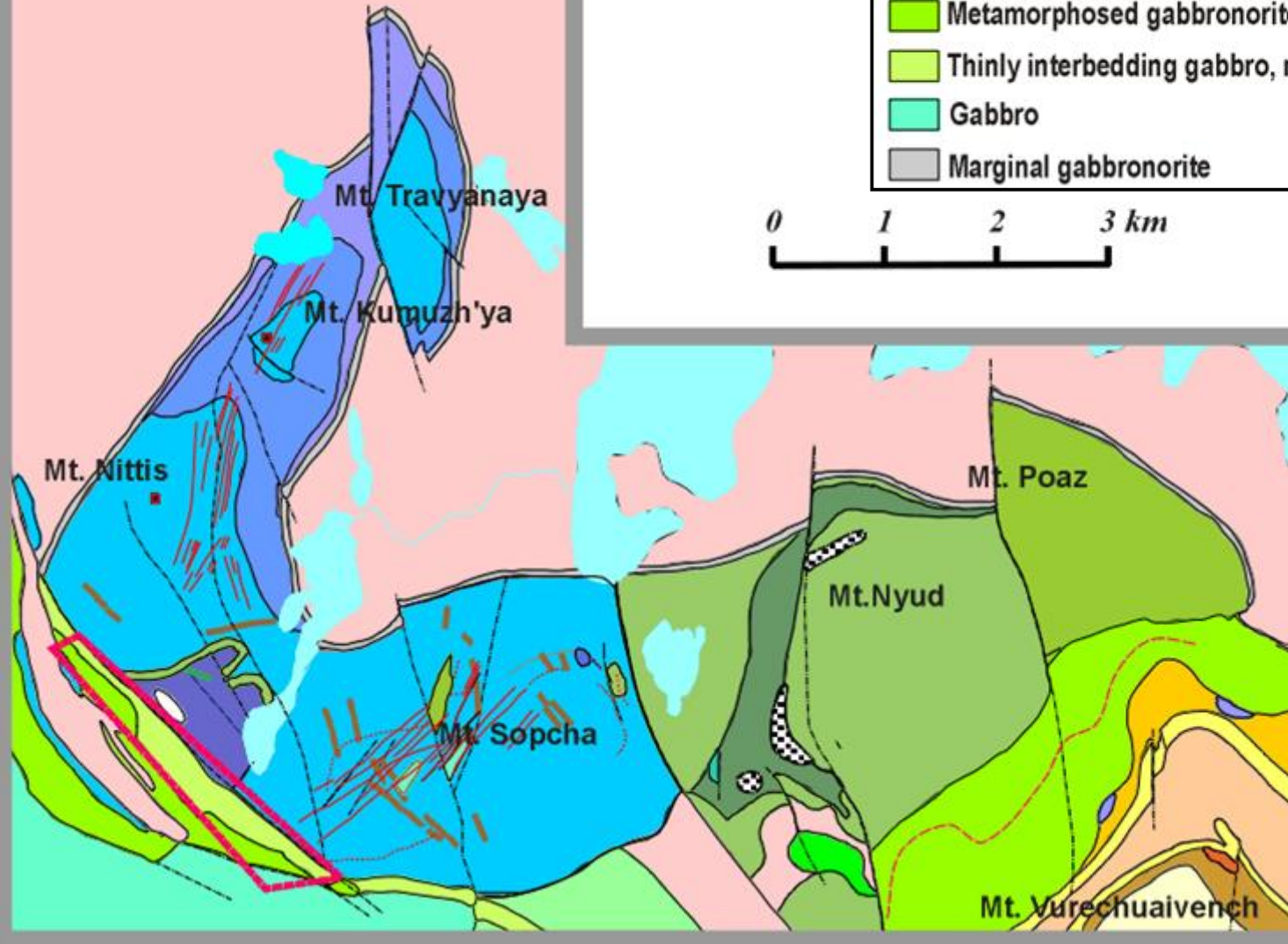
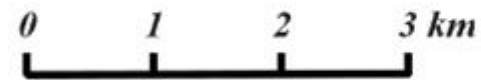
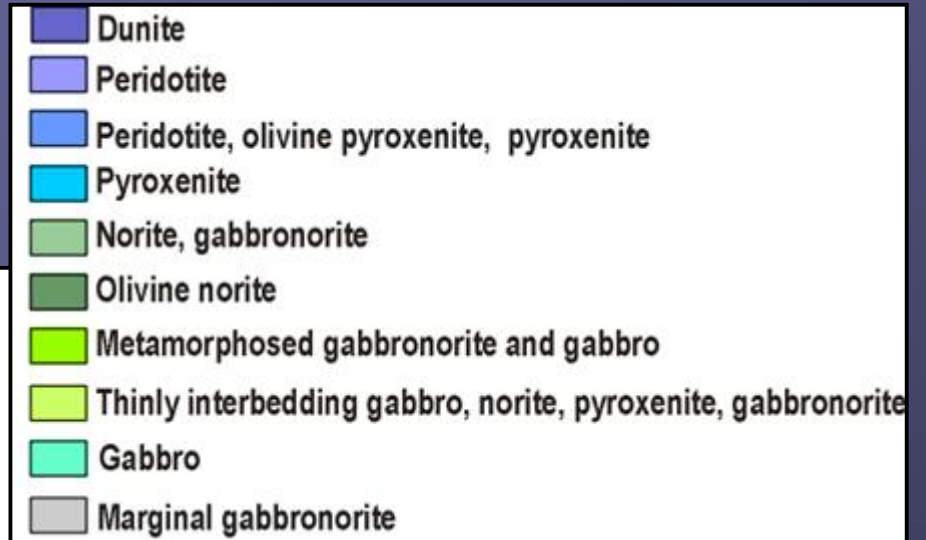


Расслоенный массив Великой  
дайки Родезии (Зимбабве).  
560 ´ 12 км. Google

Расслоенный массив Великой  
дайки (по Б. Лайтфуту).  
Из учебника В.В. Белоусова

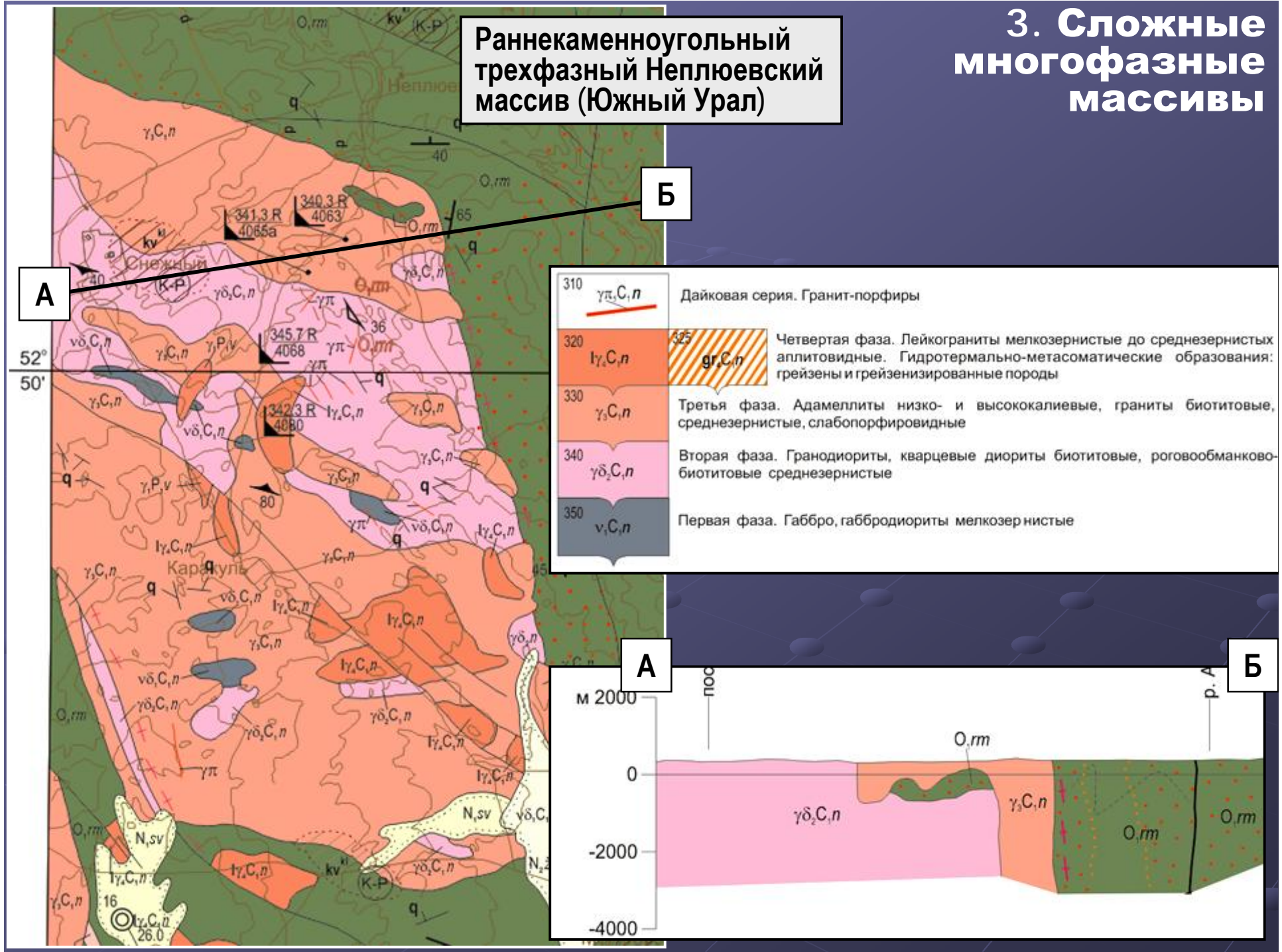


Геологическая карта  
Мончегорского массива.  
По Арк.В. Тевелеву и  
Т.Л. Гроховской, 2000



### 3. Сложные многофазные массивы

Раннекаменноугольный трехфазный Неплюевский массив (Южный Урал)



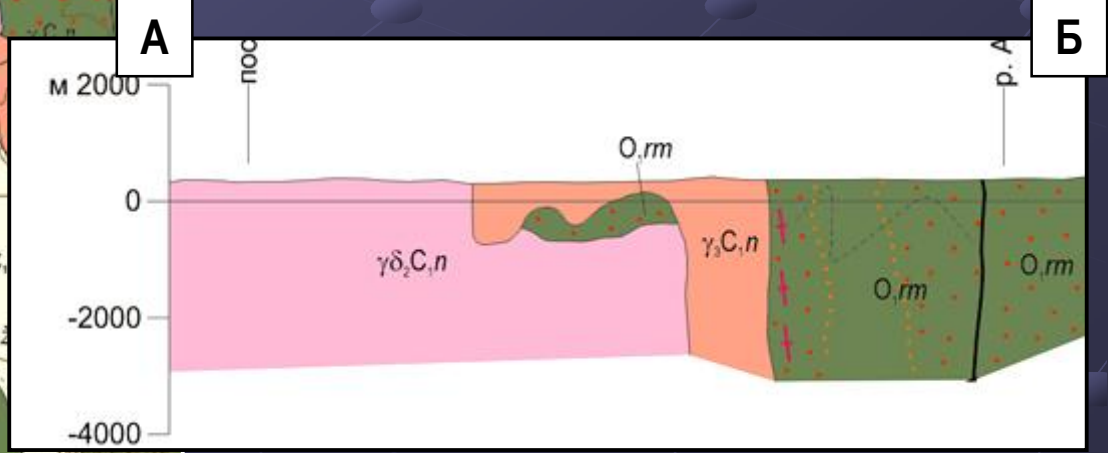
A

Б

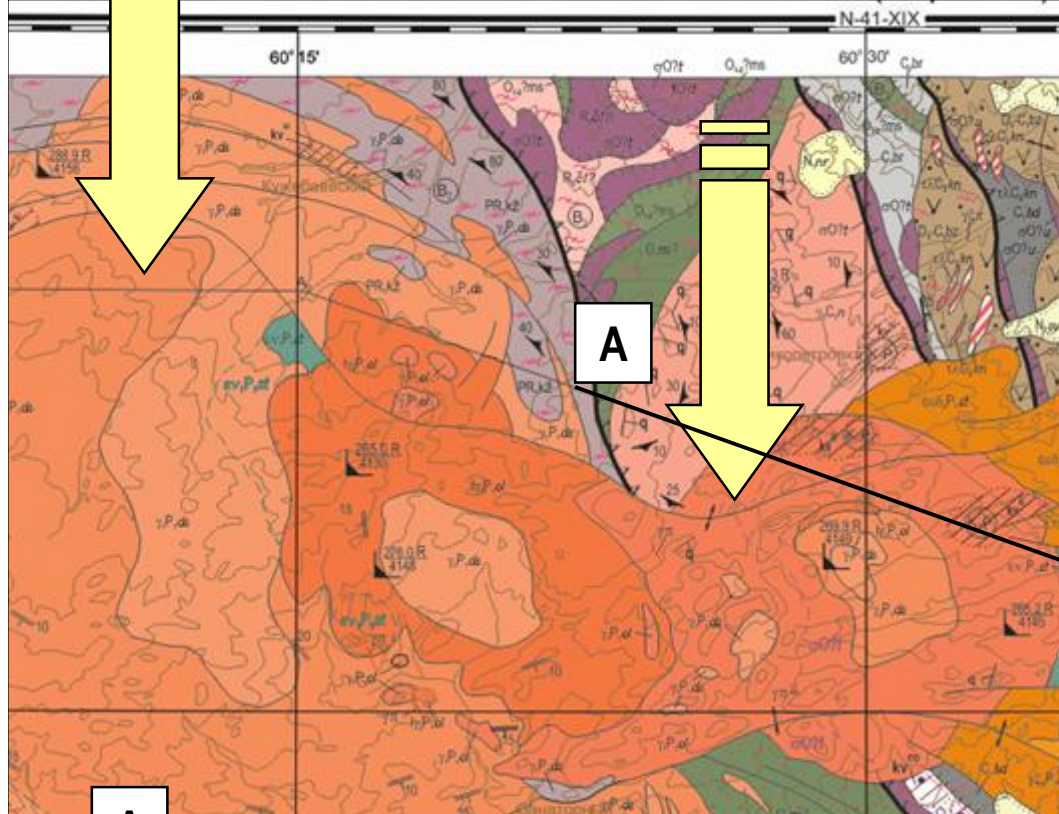
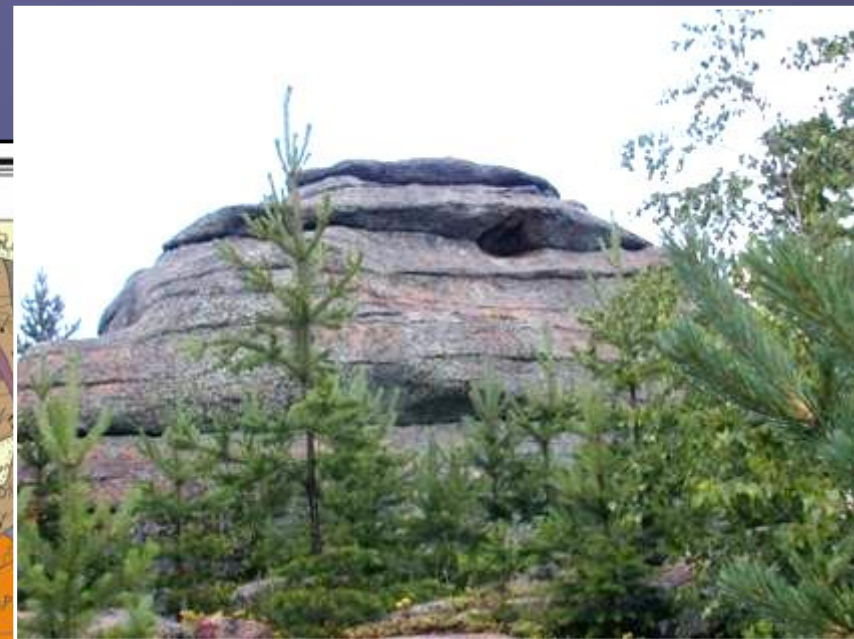
310	$\gamma_{11} C, n$	Дайковая серия. Гранит-порфиры
320	$\gamma_7 C, n$	Четвертая фаза. Лейкограниты мелкозернистые до среднезернистых аплитовидные. Гидротермально-метасоматические образования: грейзены и грейзенизированные породы
330	$\gamma_3 C, n$	Третья фаза. Адамеллиты низко- и высококальциевые, граниты биотитовые, среднезернистые, слабопорфировидные
340	$\gamma_8 C, n$	Вторая фаза. Гранодиориты, кварцевые диориты биотитовые, роговообманково-биотитовые среднезернистые
350	$\gamma_5 C, n$	Первая фаза. Габбро, габбродиориты мелкозернистые

A

Б



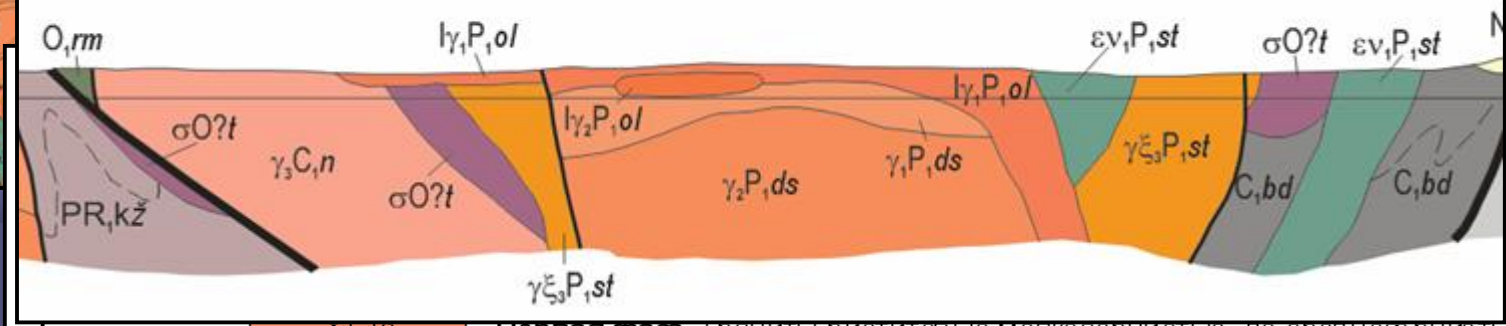
### 3. Сложные полихронные массивы



Полихронный Джабыкский плутон. Диаметр до 40 км. Южный Урал

А

Б



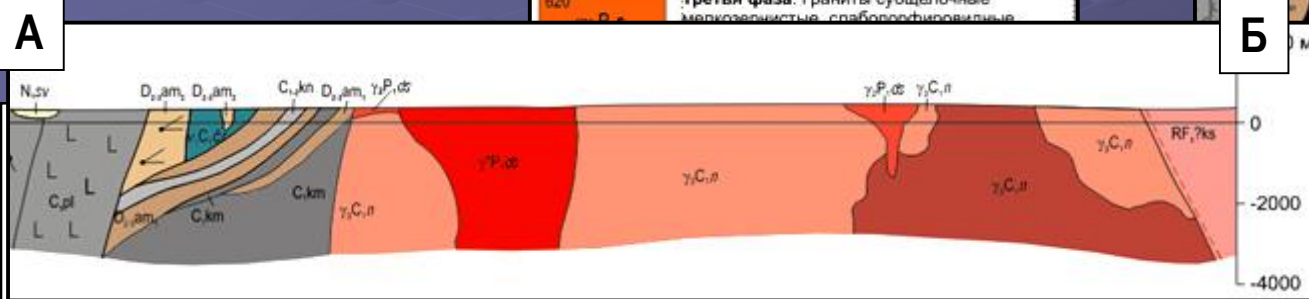
Первая фаза. граниты биотитовые мелкозернистые до среднезернистых, порфиоровидные

ные, субщелочные  
рупнозернистых, пор-  
зования: грейзены и

**Полихронный Суундукский батолит. Южный Урал.  
Размеры 70×12 км, вертикальная мощность 6-8 км**

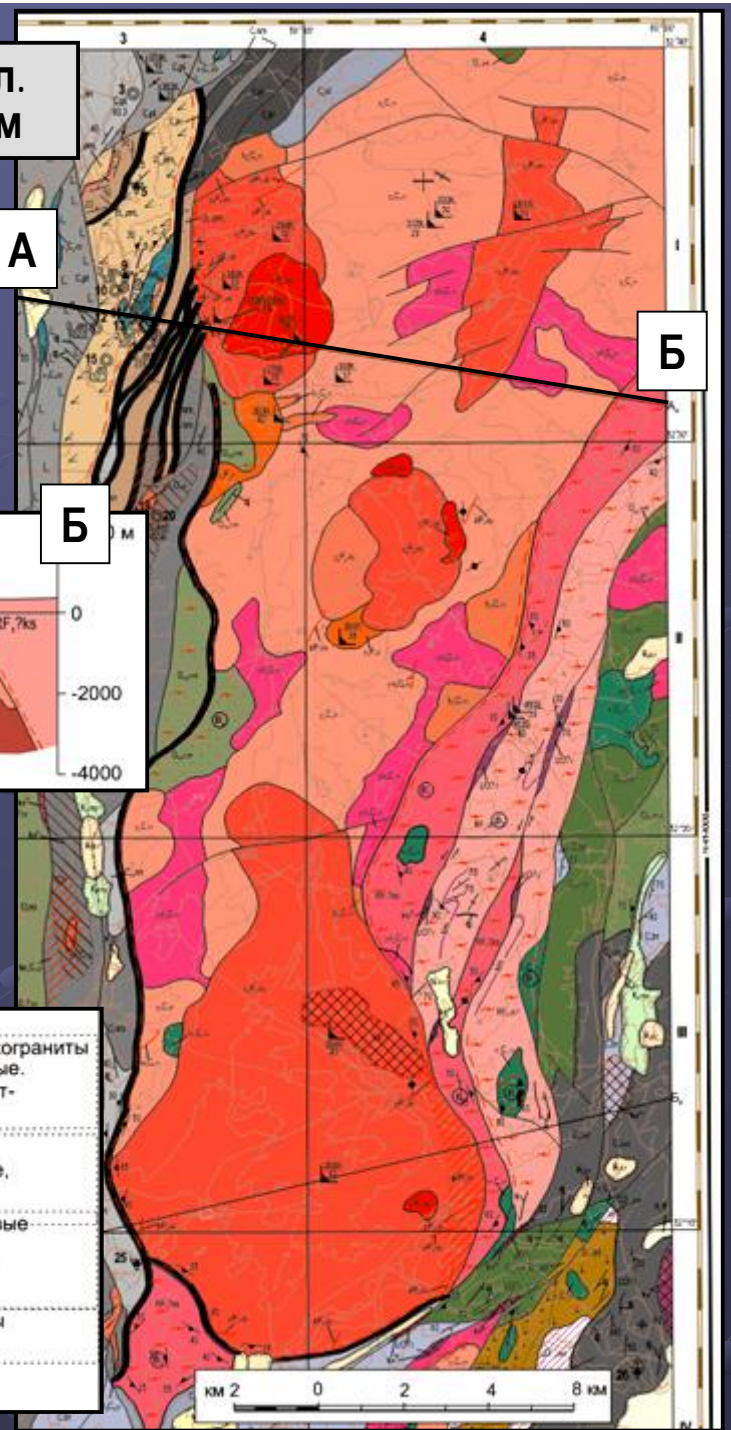
**джабыкский комплекс P<sub>1</sub>**

580	aP.ds	Жильная серия. Дайки аплитов, пегматитовые жилы (pP.ds) (582)
585	γP.ds	Дополнительные интрузии. Граниты мелкозернистые, аплитовидные. Гидротермально-метасоматические образования: грейзены
	brP.ds	
610	γP.ds	Вторая фаза. Граниты биотитовые средне-крупнозернистые, порфирировидные
	γP.ds	Первая фаза. Граниты мелкозернистые биотитовые, слабoporфирировидные
620	γP.ds	Третья фаза. Граниты субщелочные мелкозернистые, слабoporфирировидные



**неплюевский комплекс C<sub>1</sub>**

660	γC.n	Четвертая фаза. Лейкограниты мелко-среднезернистые. Дайковая серия: гранит-порфиры
670	γC.n	
680	γC.n	Третья фаза. Адамеллиты низко- и высококальциевые, граниты биотитовые, среднезернистые
690	γδC.n	Вторая фаза. Гранодиориты, кварцевые диориты, биотит-роговообманковые, среднезернистые, разгнейсованные
700	γC.n	Первая фаза. Габбро, габбродиориты мелкозернистые





# Формирование магматических массивов и тектонические движения

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

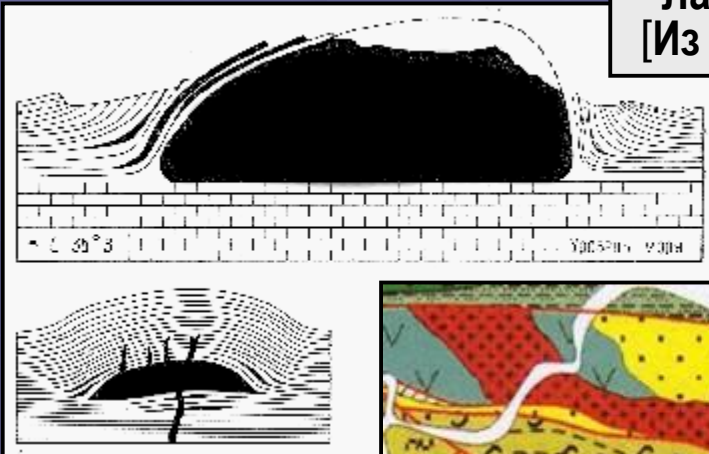
1. "**Предкинематические**", или **доскладчатые** – интрузивные массивы, внедрившиеся в спокойной тектонической обстановке, как правило, это интрузивы с "активным" внедрением. Группа довольно условная, поскольку полностью исключить влияние тектонического фактора нельзя.
2. **Синкинематические** – массивы,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

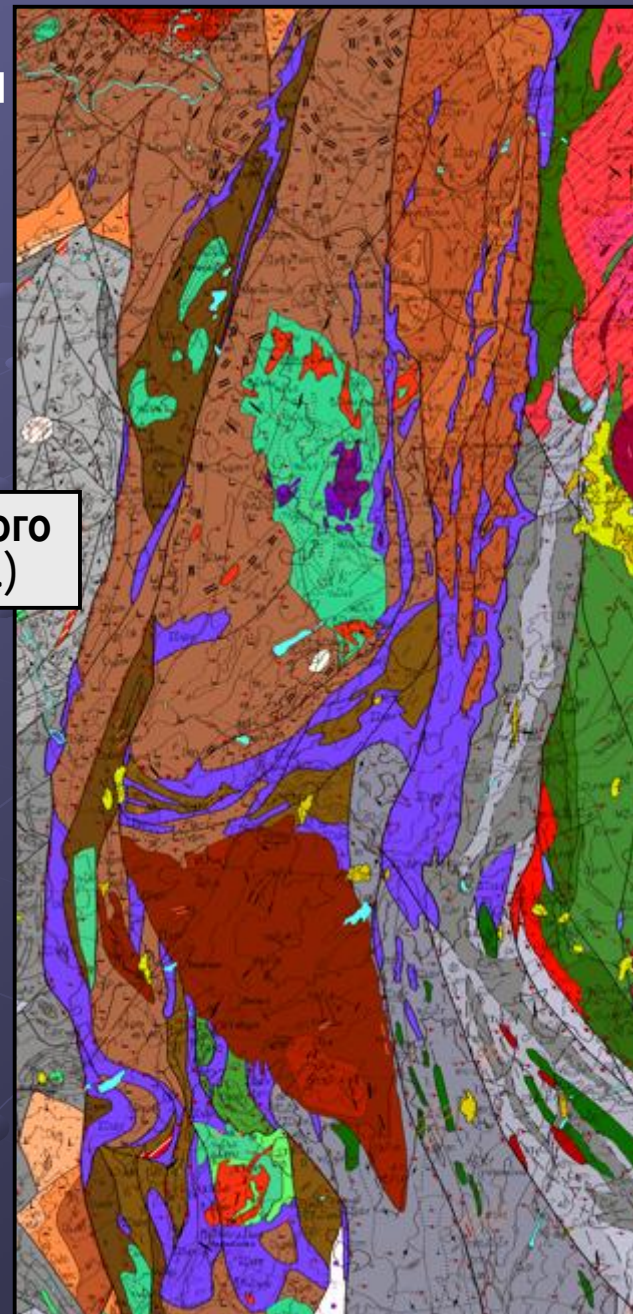
Как правило, протрузивные массивы, располагающиеся в зонах крупных сдвигов, представляют собой круто стоящие линейные тела, которые часто распадаются на пучки субпараллельных маломощных лизновидных тел, проникающих даже в небольшие трещины.

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

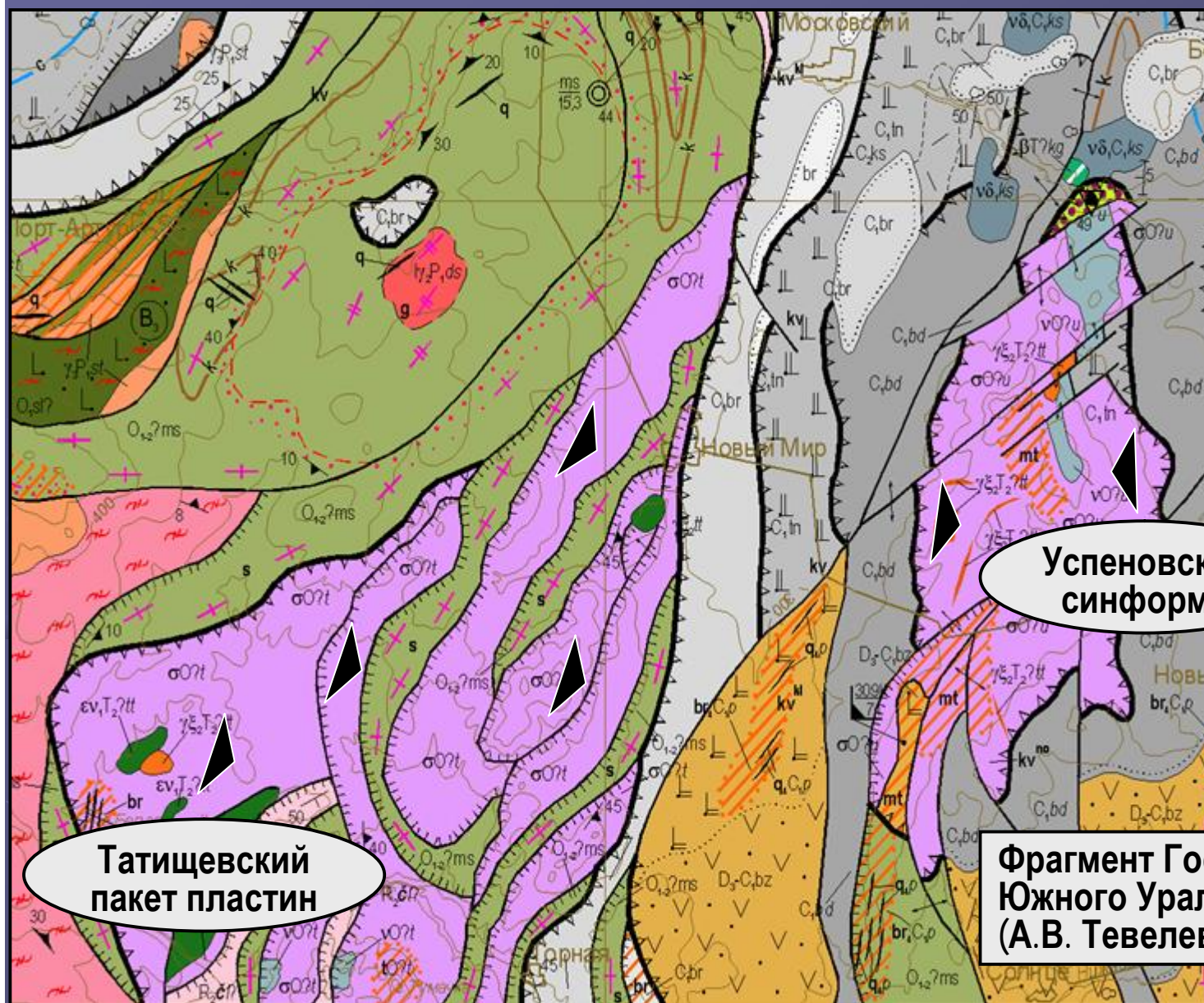
Наиболее распространенный вид серпентинитовых массивов крупных сдвиговых зон – линейные массивы с многочисленными апофизами и ответвлениями. Как правило, серпентиниты, расположенные в зонах сдвигов, очень интенсивно рассланцованы

**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



Протрузивные массивы, располагающиеся в зонах крупных надвигов, обычно представляют собой часть аллохтона или составляют собственно аллохтон. Как правило, они интенсивно меланжированы.



Татищевский  
пакет пластин

Успенковская  
синформа

Фрагмент Госгеолкарты-200  
Южного Урала  
(А.В. Тевелев и др., 2001 г.)

**Фрагмент Госгеолкарты-200  
Южного Урала  
(А.В. Тевелев и др., 2001 г.)**

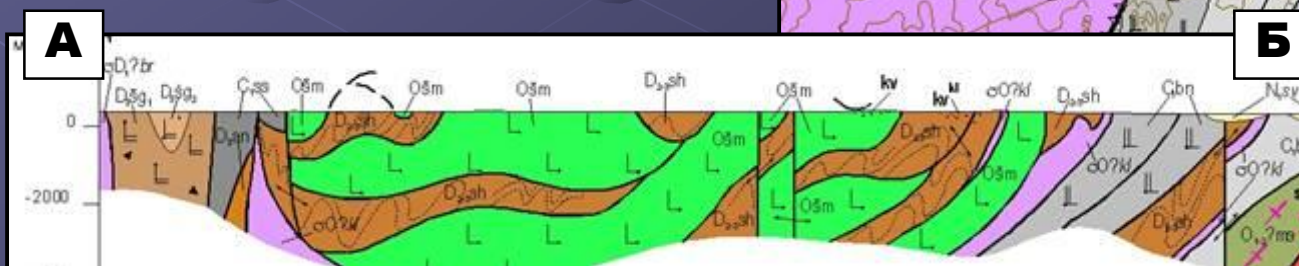
**А**

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

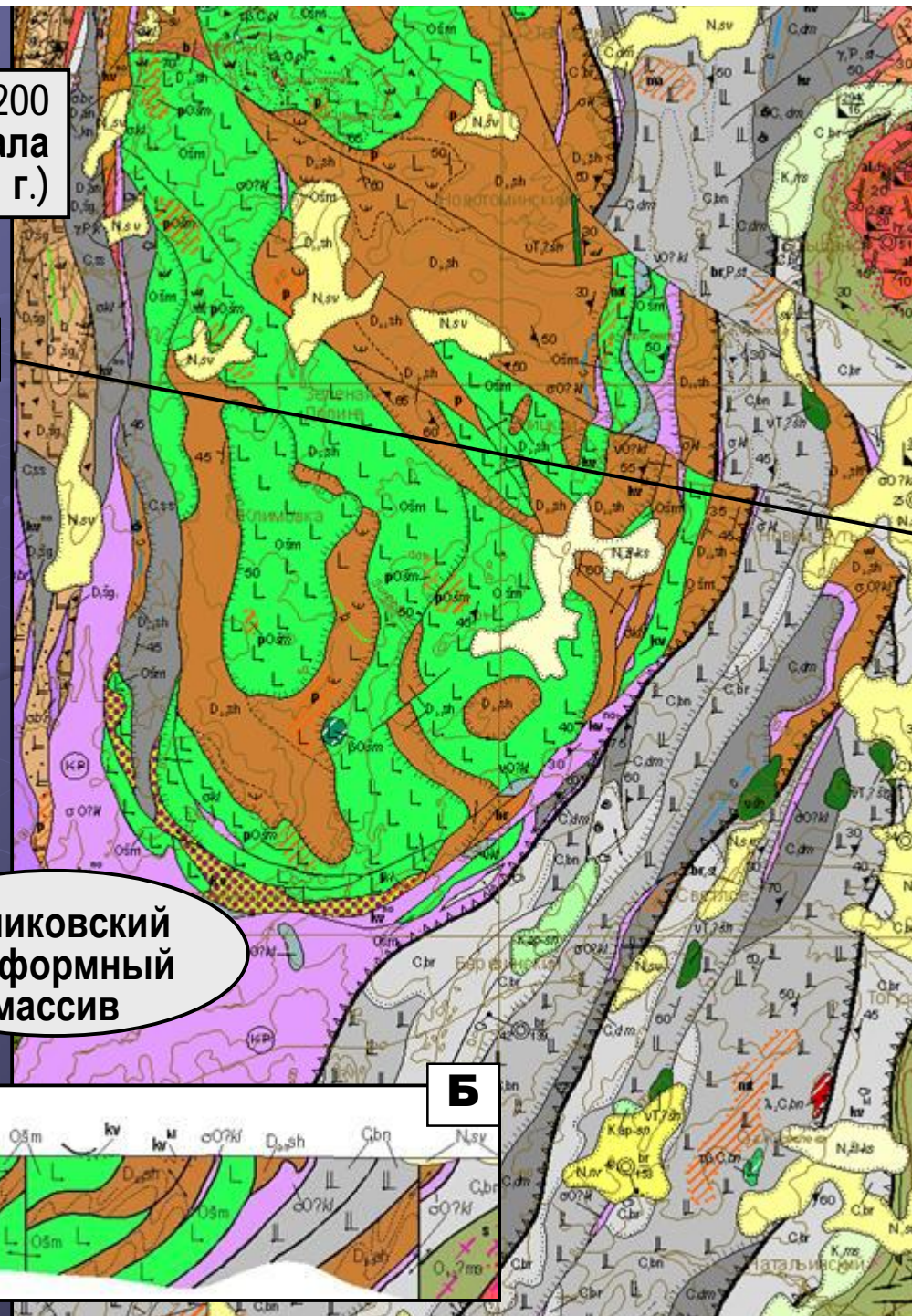
**Куликовский  
синформный  
массив**

**Б**

**А**

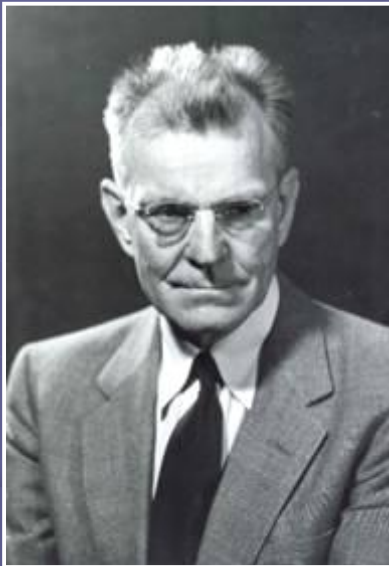


**Б**



## 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.



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!** 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 могут иметь различные механизмы заполнения магматических камер.

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

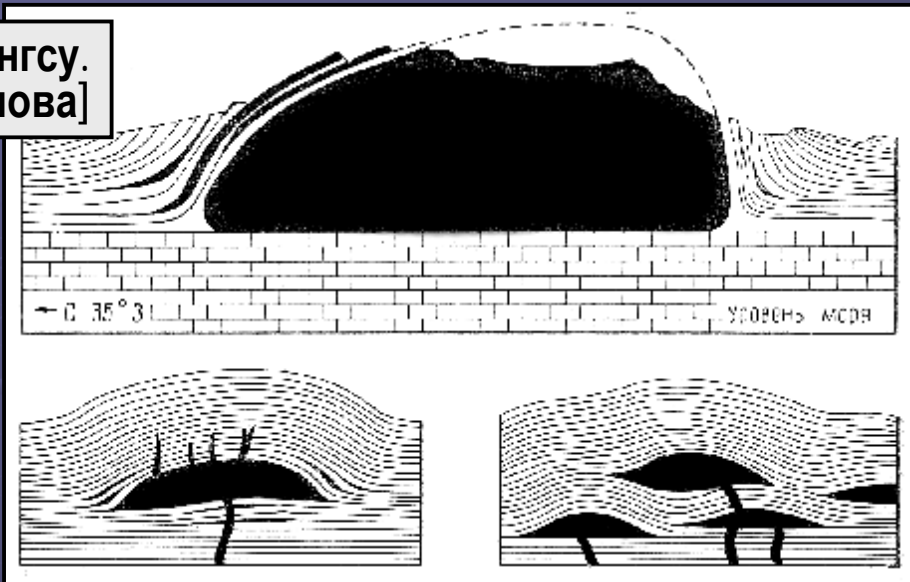
Для реализации процесса внедрения (**интрузии**) необходимо наличие расплава (**магмы**) и места, куда эта магма могла бы интродировать. При этом магма всегда движется в сторону пониженного давления. Следовательно, для появления интрузивного массива необходимы условия перепада давлений. Такие условия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



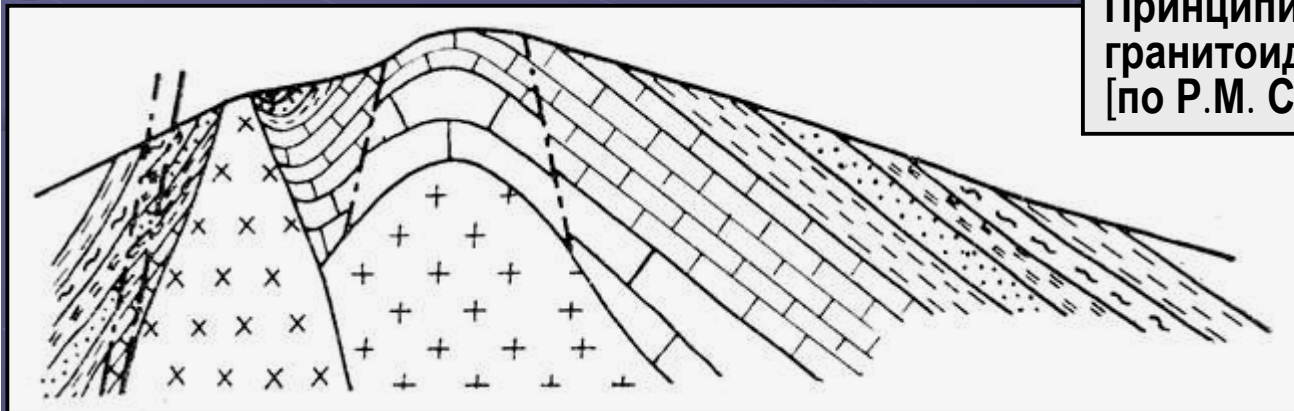
# 1. Интрузивные массивы активного внедрения

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

В приповерхностных зонах чаще встречаются мелкие массивы активного внедрения, приподнимающие толщи вмещающих пород при невысоком литостатическом давлении



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



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



**Гранитные массивы  
активного внедрения.  
Западный Гиндукуш. Google**

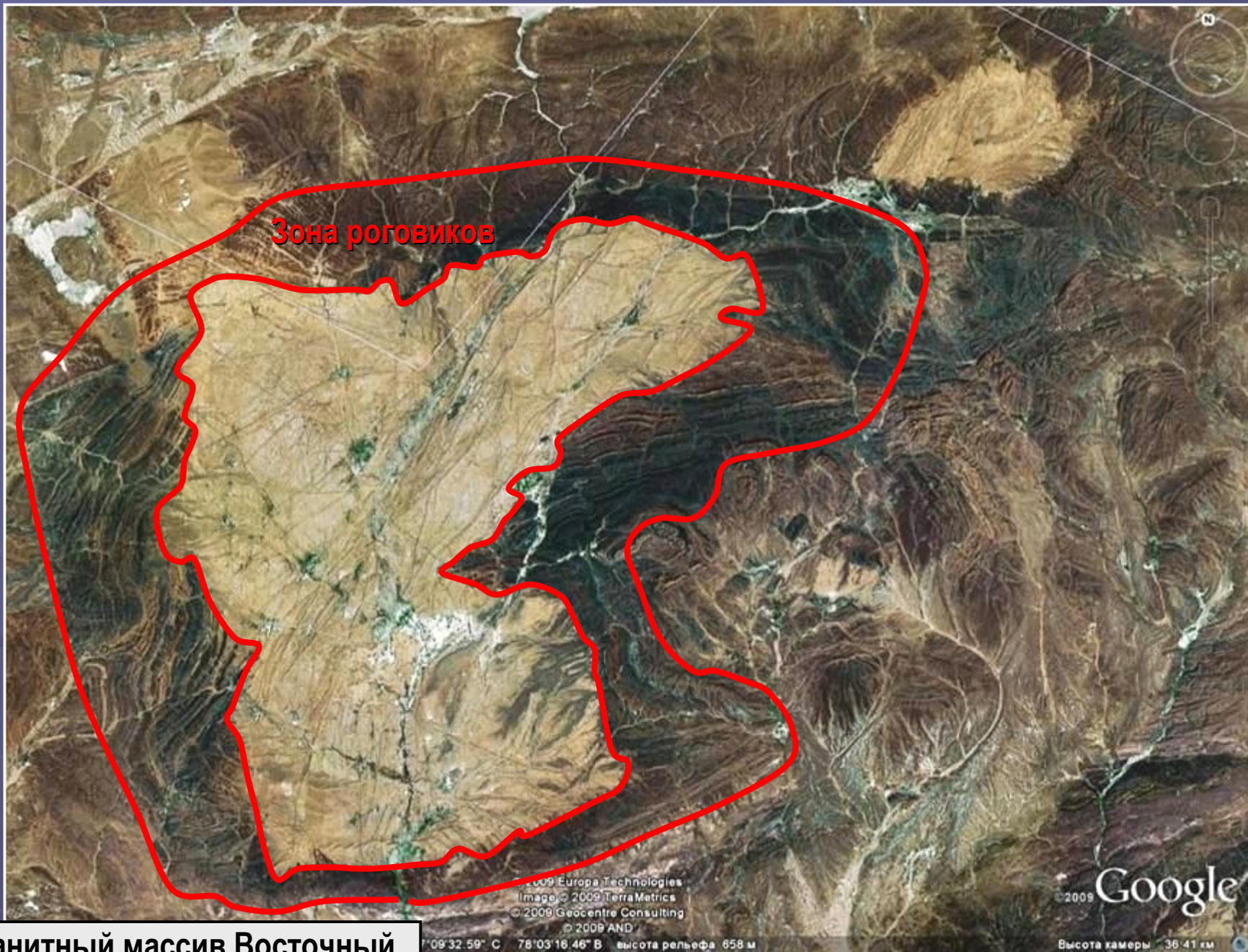
## 2. Интрузивные массивы пассивного внедрения

### Признаки массивов пассивного внедрения:

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



Девонский гранитный батолит. Новая Шотландия [по Баддингтону, цитируется по Р.М. Слободскому, 1971]



**Гранитный массив Восточный Саяк. Ц. Казахстан [Google]**



Зона роговиков

Гранитный шток  
Восточный Коунрад.  
Ц. Казахстан [Google]

©2009 Google

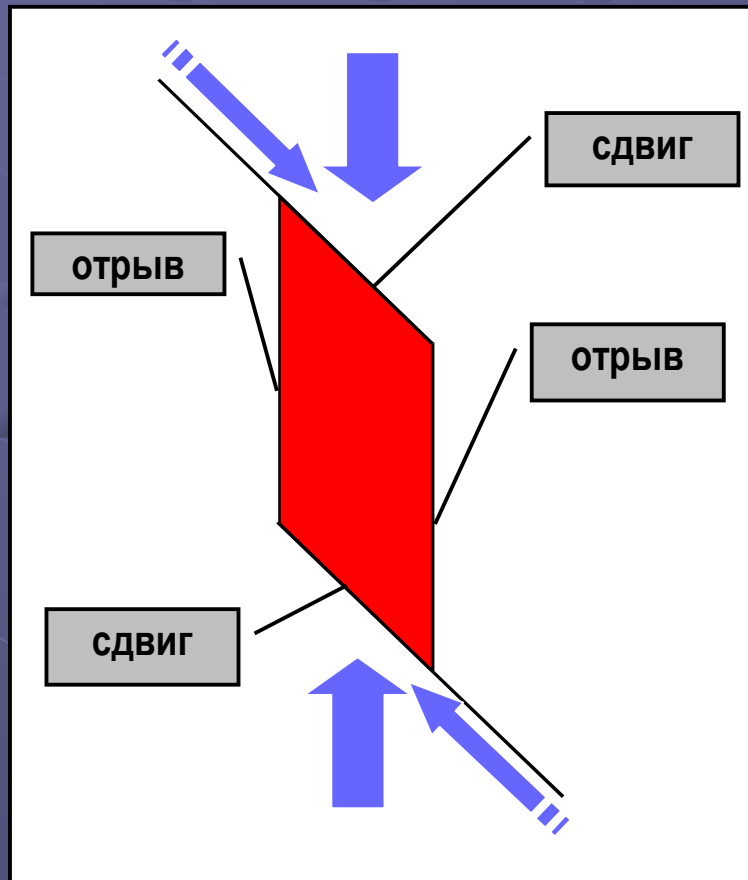
Один из возможных механизмов пассивного внедрения массивов – заполнение пустот палеокальдер после того, как "собственная" магма, питающая вулкан, будет оттуда удалена в процессе извержений



**Гранитный массив Майтас.  
Ц. Казахстан [Google]**

## Механизмы внедрения интрузивов

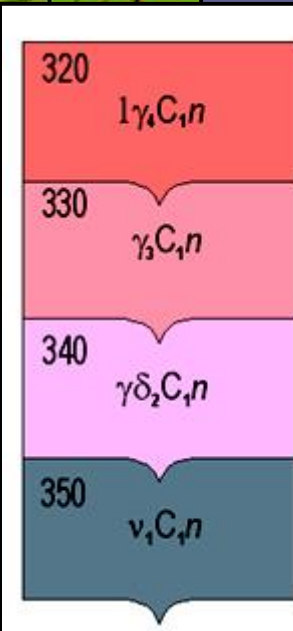
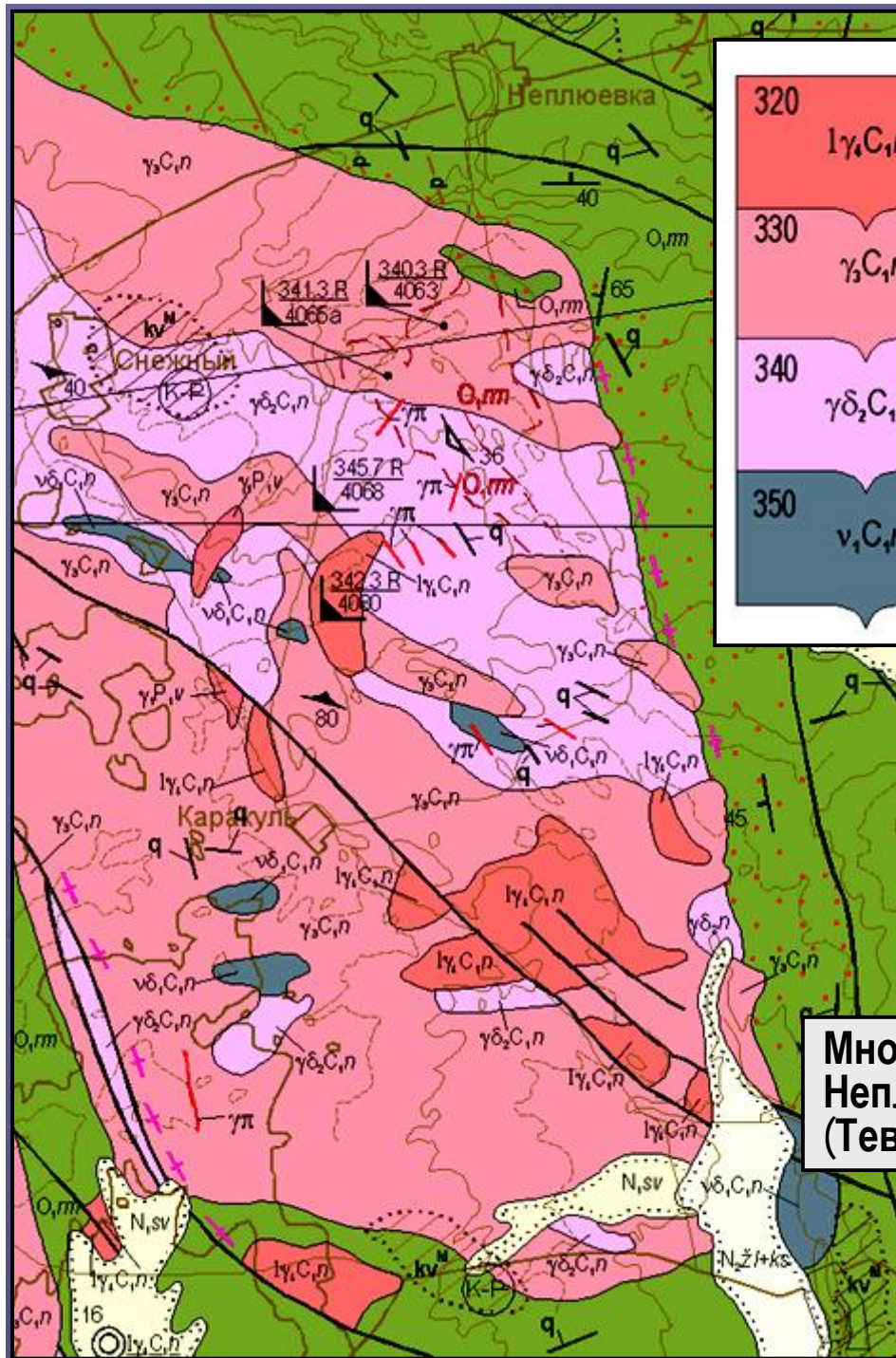
Исследования последних десятилетий показывают, что тектоника и магматизм связаны не только "в принципе", "вообще", на глобальном уровне, но и самым непосредственным образом, на уровне локальном – т.е. морфология и кинематика разрывных зон непосредственно влияют на характер магматической деятельности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



Простейшие структуры присдвигового растяжения при меридиональном сжатии 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.



**Четвертая фаза.** Лейкограниты мелкозернистые до среднезернистых аплитовидные

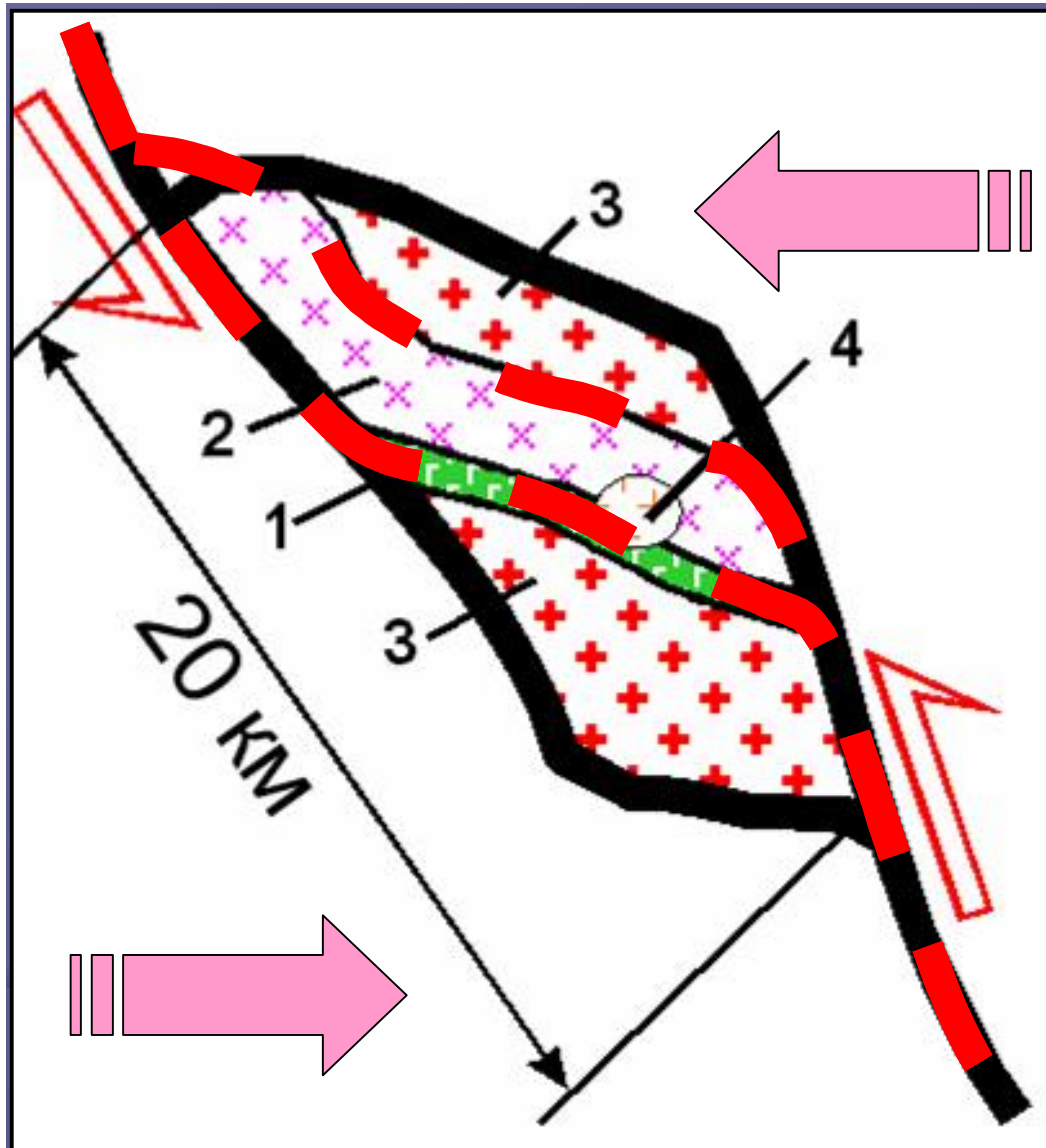
**Третья фаза.** Адамеллиты низко- и высококалиевые, среднезернистые, слабопорфировидные

**Вторая фаза.** Гранодиориты, кварцевые диориты биотитовые, роговообманково-биотитовые среднезернистые

**Первая фаза.** Габбро, диориты мелкозернистые

Многофазный раннекаменноугольный Неплюевский массив. Южный Урал (Тевелев и др., 2003)





## Кинематическая модель формирования Неплюевского массива

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

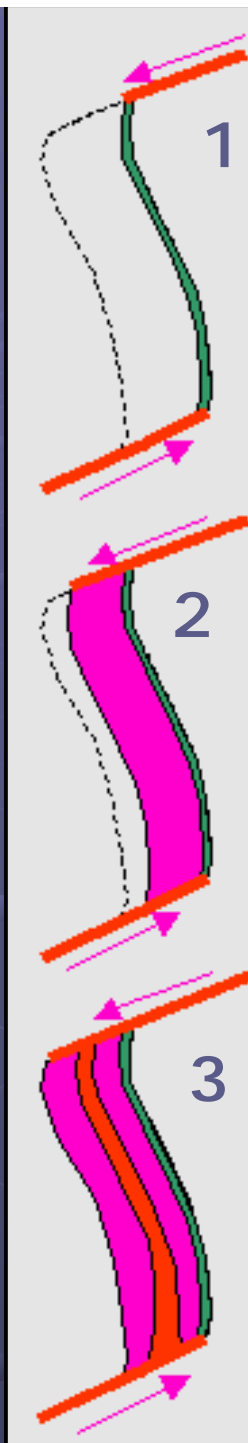
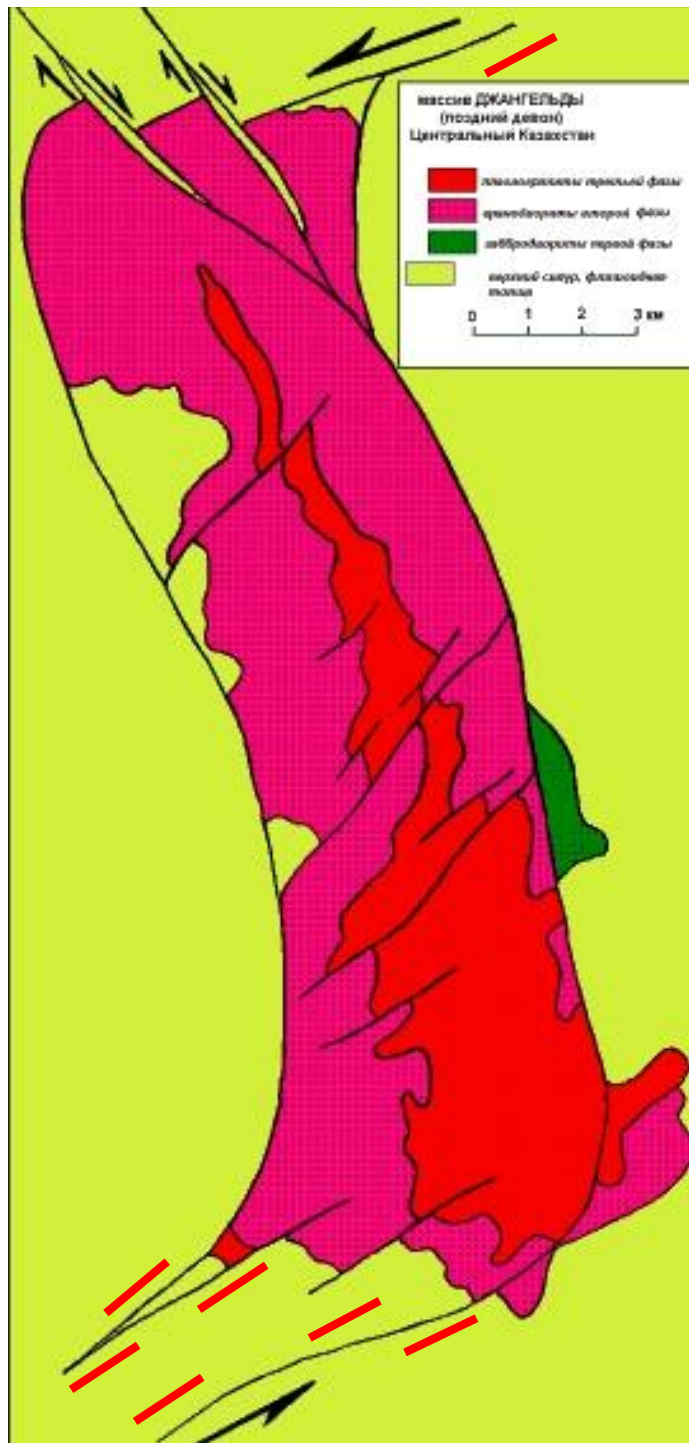
**2 фаза** – внедрение гранодиоритов по отрыву вдоль северного контакта габбро (345,7 млн. лет);

**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!

**NB!** Формирование массива происходит в рамках модели **ЧИСТОГО СДВИГА!**



## Схема строения и кинематическая модель формирования Джангельдинского плутона (Центральный Казахстан)

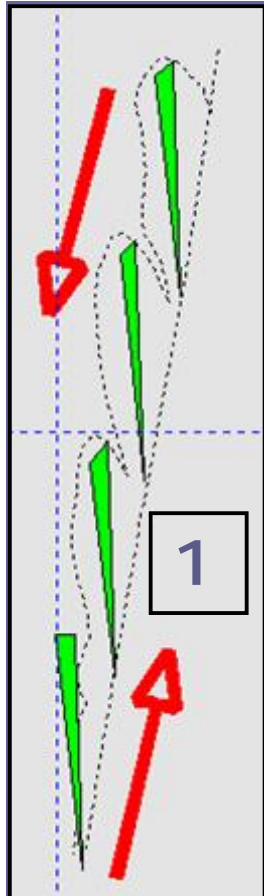
**1 фаза** – внедрение габброидов по начальному отрыву

**2 фаза** – внедрение гранодиоритов по обновленному отрыву

**3 фаза** – внедрение гранитов по новому отрыву внутри тела гранодиоритов

**NB!** Формирование массива происходит в рамках модели **ЧИСТОГО СДВИГА!**

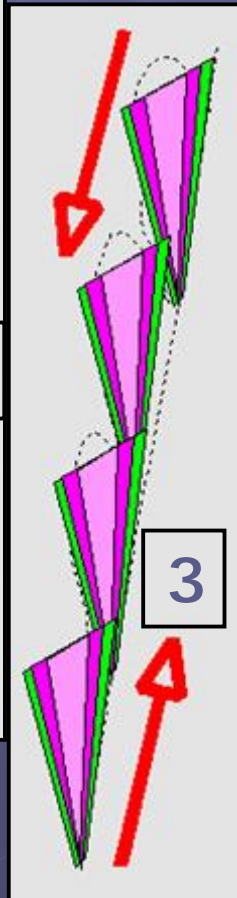
# Схема строения и кинематическая модель формирования массивов Каменской группы (Южный Урал)



1



2



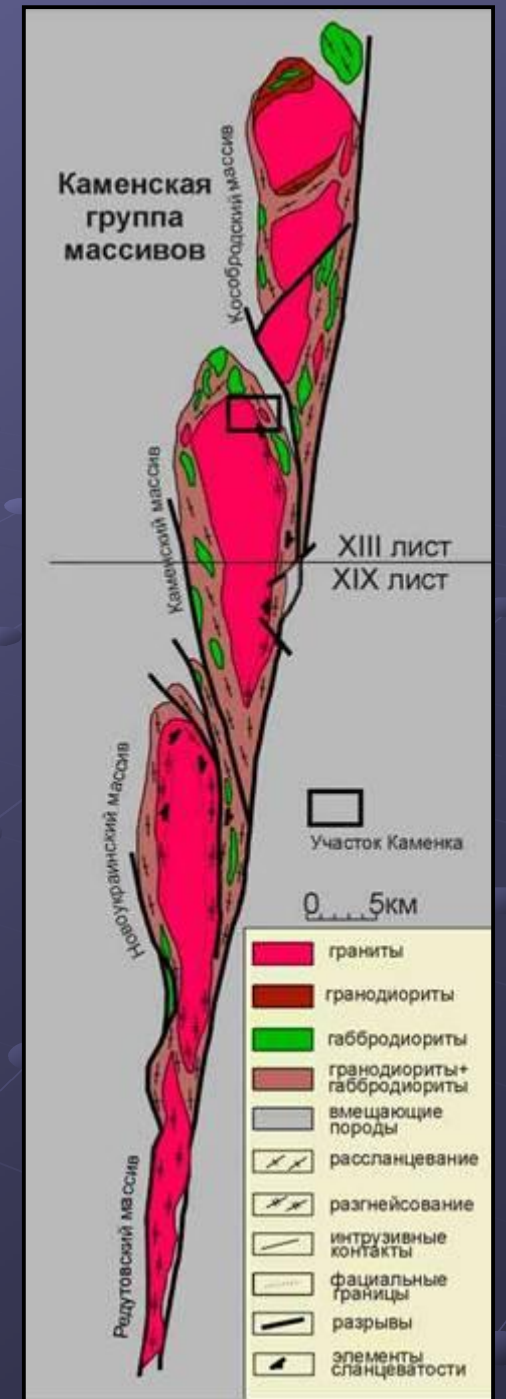
3

**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

**NB!** Формирование массивов происходит в рамках модели **простого сдвига!**



## 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, т.е. до того, как они начинают 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**, т.е. 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 и пр.).

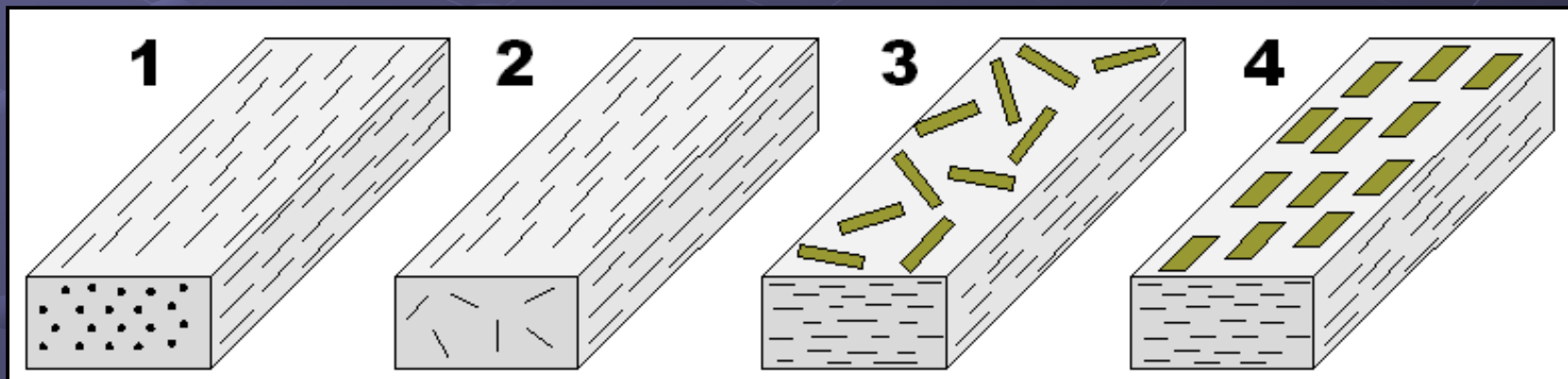
**NB!** В поперечном сечении ориентировка отсутствует!

**3) параллельные текстуры течения** – "послойное" чередование пород различного состава или полос, обогащенных каким-либо одним или несколькими минералами (сланцевидной слюдой, кварцем, полевым шпатом, роговой обманкой).

**NB!** В "послойном" сечении ориентировка отсутствует!

**4) параллельно-линейные текстуры течения** – ориентированное, параллельное расположение удлиненных и уплощенных элементов породы (удлиненно-таблитчатых кристаллов полевых шпатов, вытянутых плоских ксенолитов).

**NB!** Ориентировка присутствует во всех сечениях!

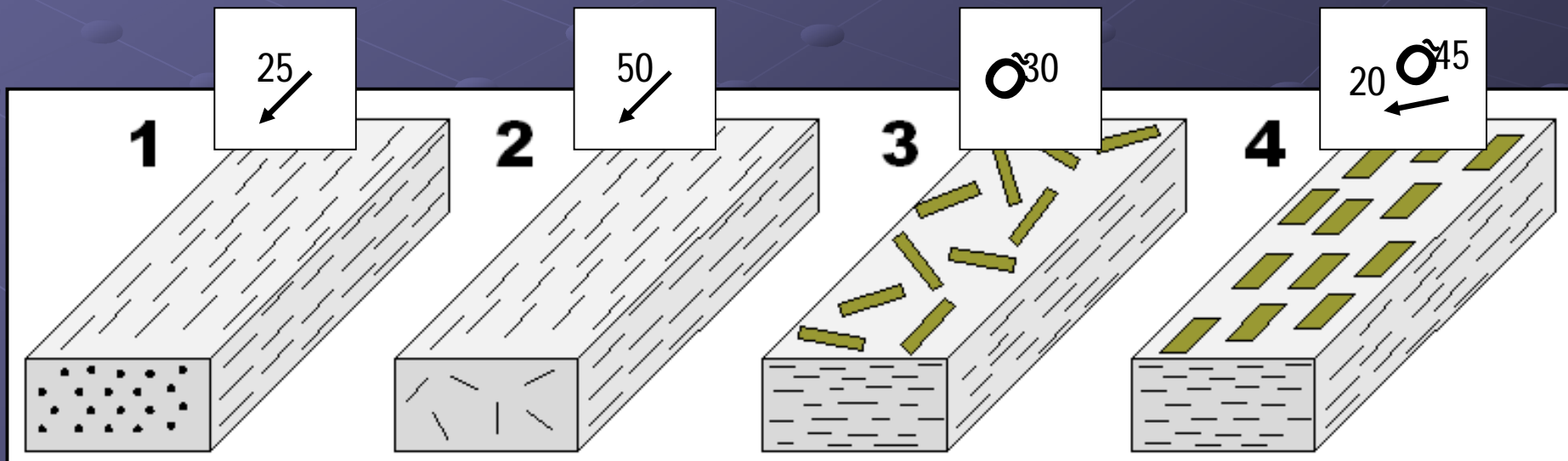


## Элементы залегания текстур прототектоники жидкой фазы

1, 2. Линейные текстуры течения имеют только **азимут** и **угол падения** линий течения. **NB!** **Направление простираания отсутствует!**

3. Параллельные текстуры течения имеют только **азимут** и **угол падения** поверхности течения. **NB!** **Направление течения отсутствует!**

4. Параллельно-линейные текстуры течения имеют **два (!)** элемента залегания:  
– **азимут** и **угол падения** поверхности течения,  
– **азимут** и **угол падения** линии течения, которая находится на поверхности течения. **NB!** **Эти элементы могут не совпадать!**





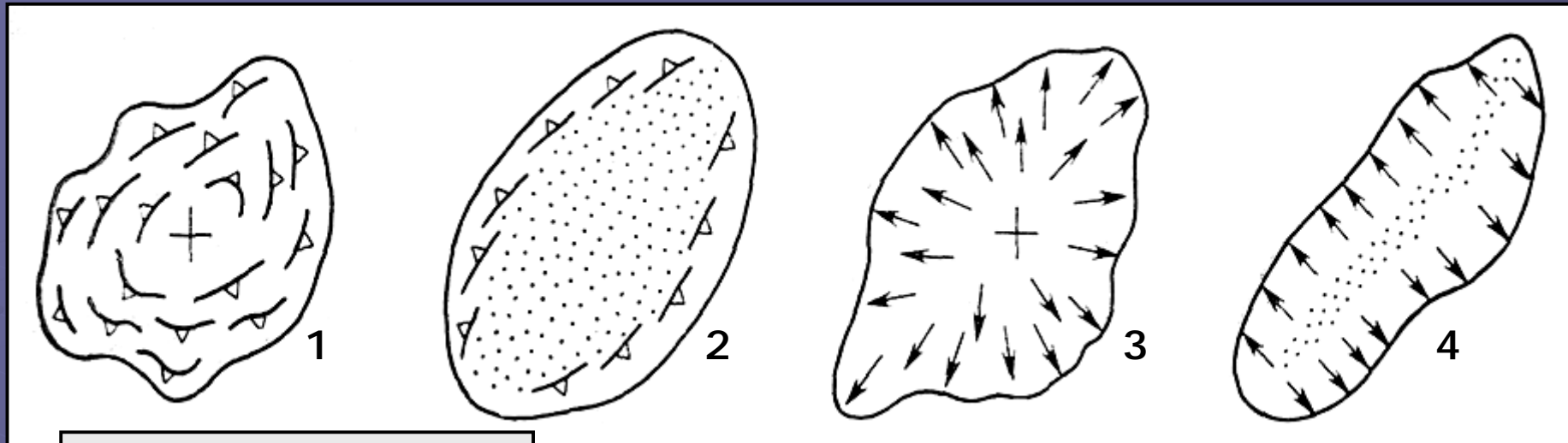
Параллельные текстуры течения в гранитах, выраженные в ориентировке фенокристаллов калишпата.  
Суундукский массив. Южный Урал



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

**NB!** Прототектонические текстуры 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]

**ВВ!** 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**, залегают круто.

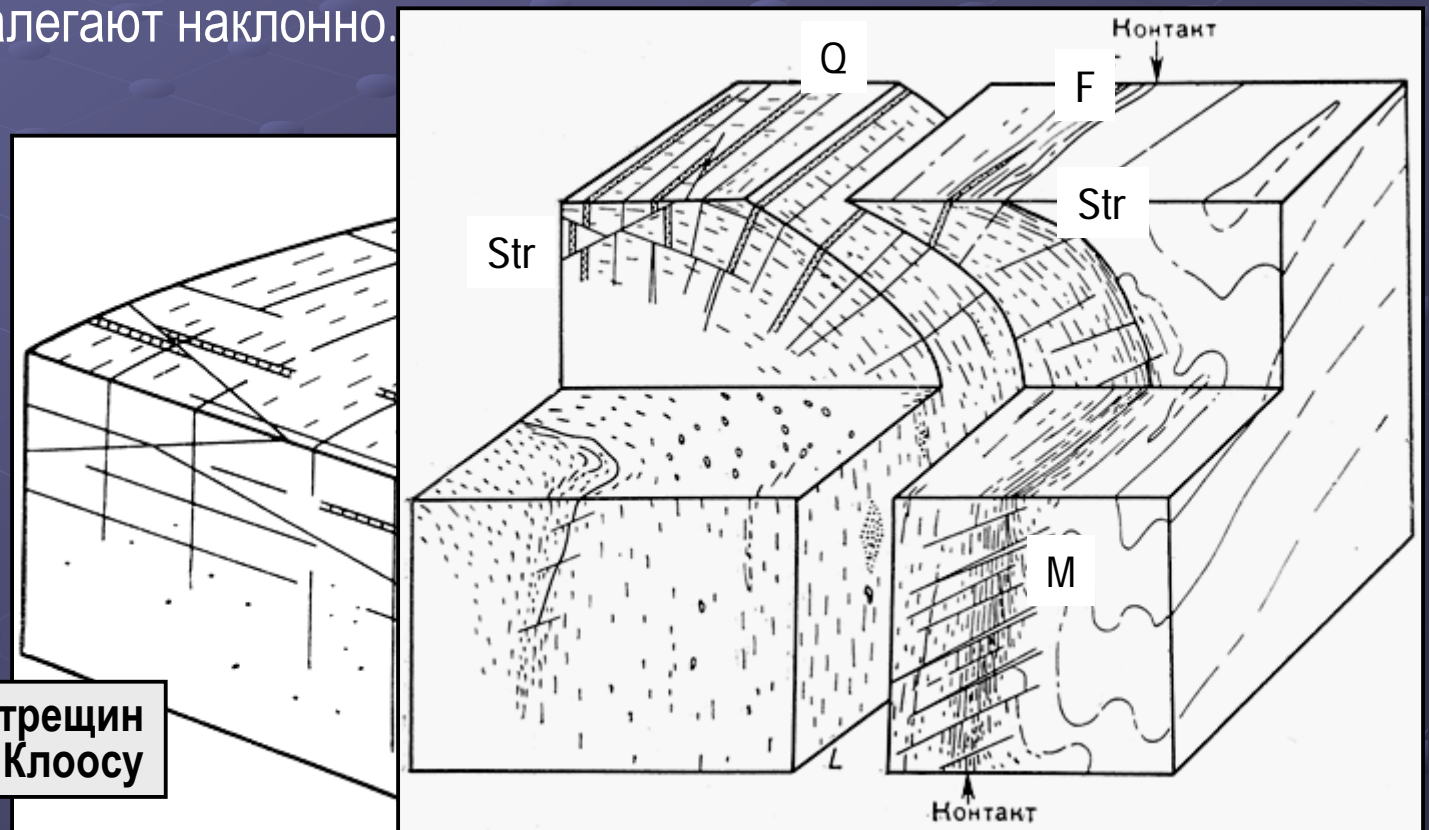
**Продольные трещины (S)** – ориентированы **параллельно линейности**, залегают круто.

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

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

**Краевые трещины (M)** – иногда появляются в эндоконтактах массива, располагаются под углом к линейности и падают ( $\text{D}20\text{-}40^\circ$ ) 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.

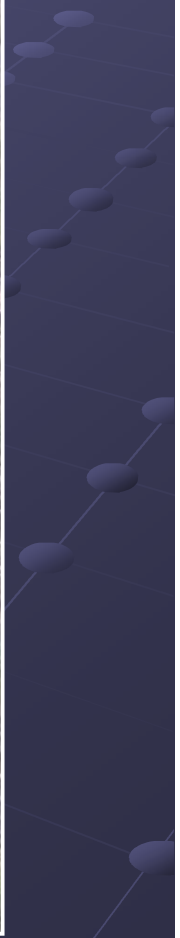
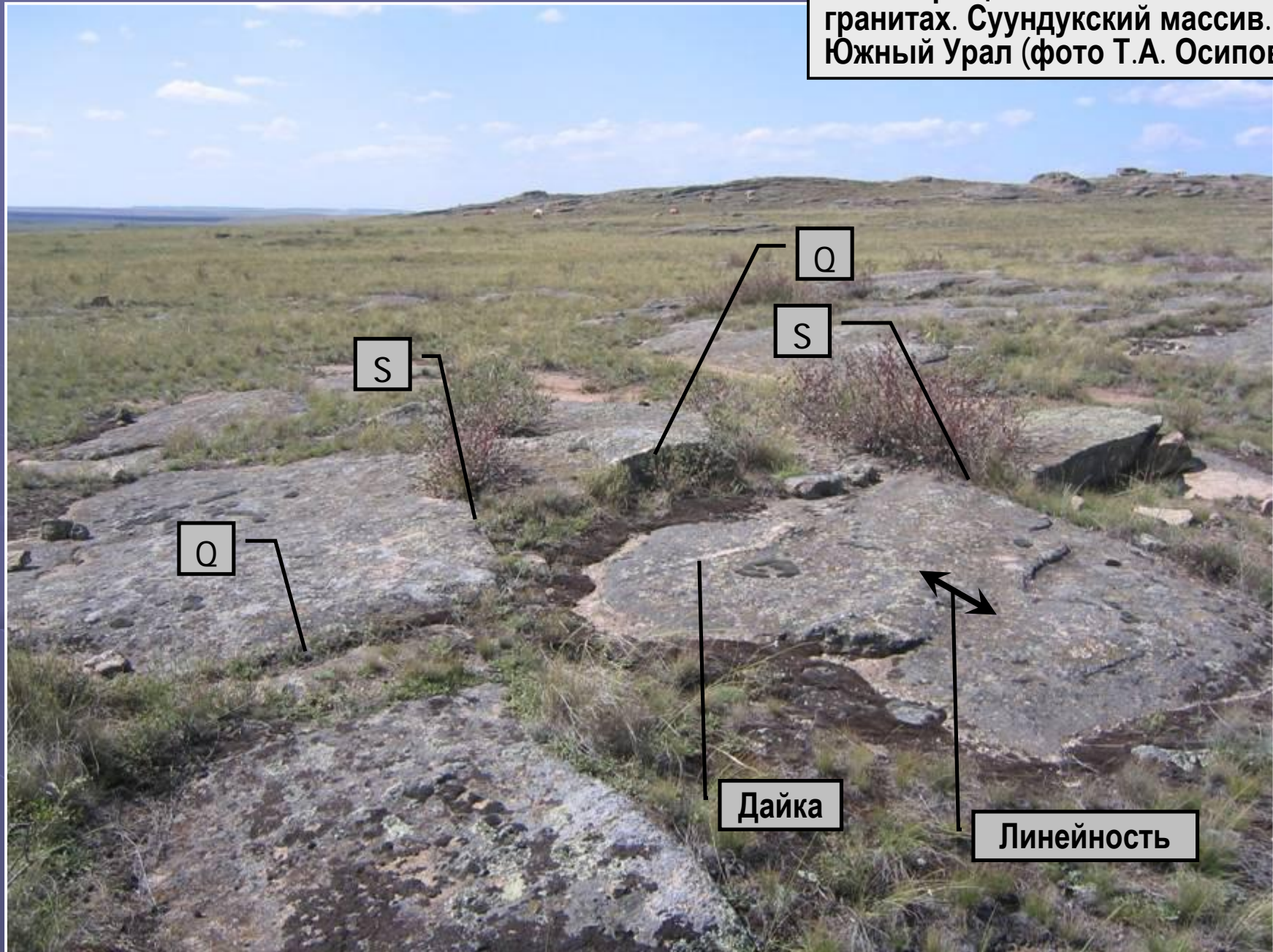
**NB!** На эродированных массивах L-трещины бывают более крутыми!

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

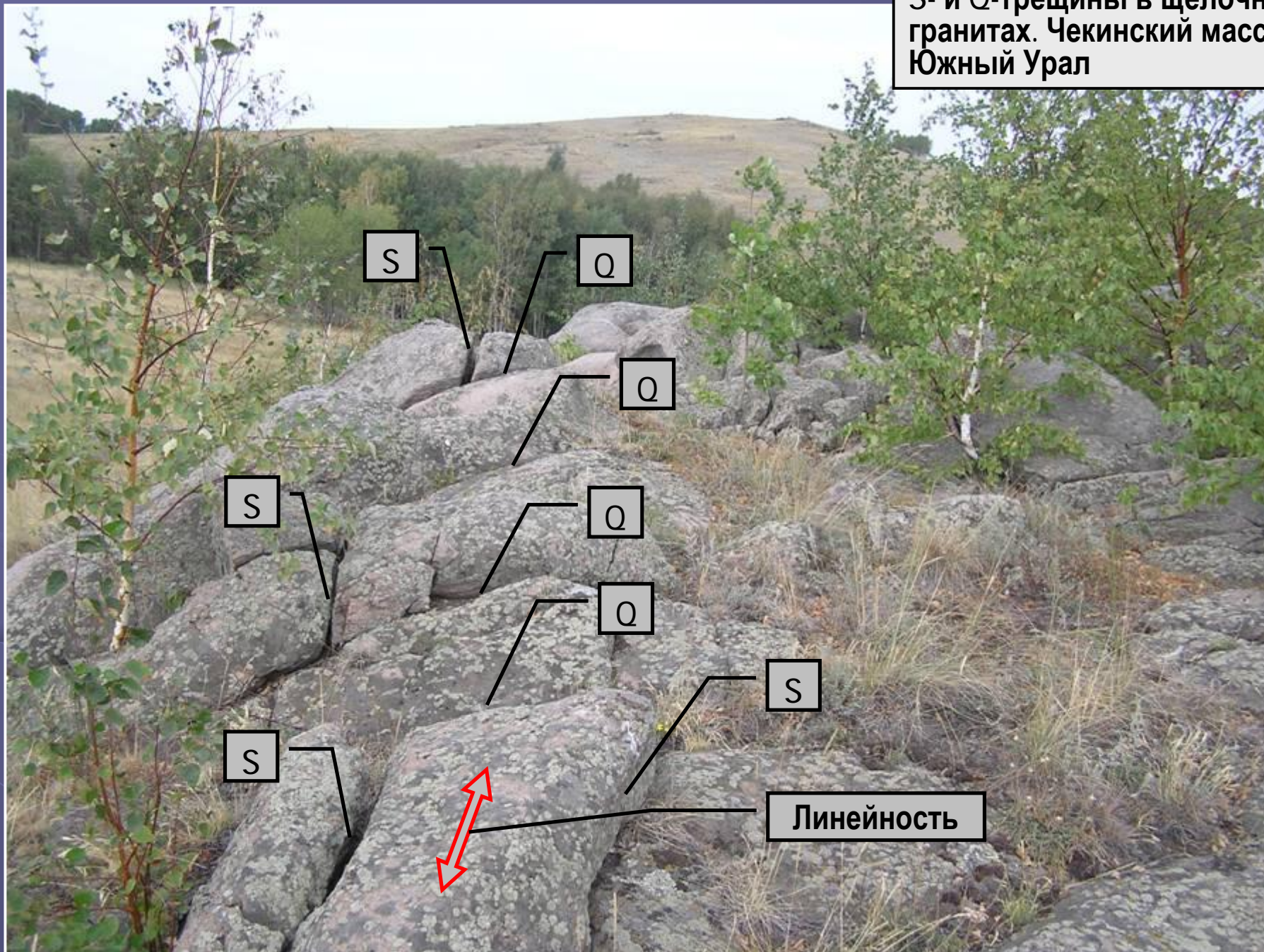
**Краевые трещины (M)** – иногда появляются в эндоконтактах массива, располагаются под углом к линейности и падают ( $\approx 20-40^\circ$ ) вглубь массива. Они вмещают дайковые серии 2 этапа.

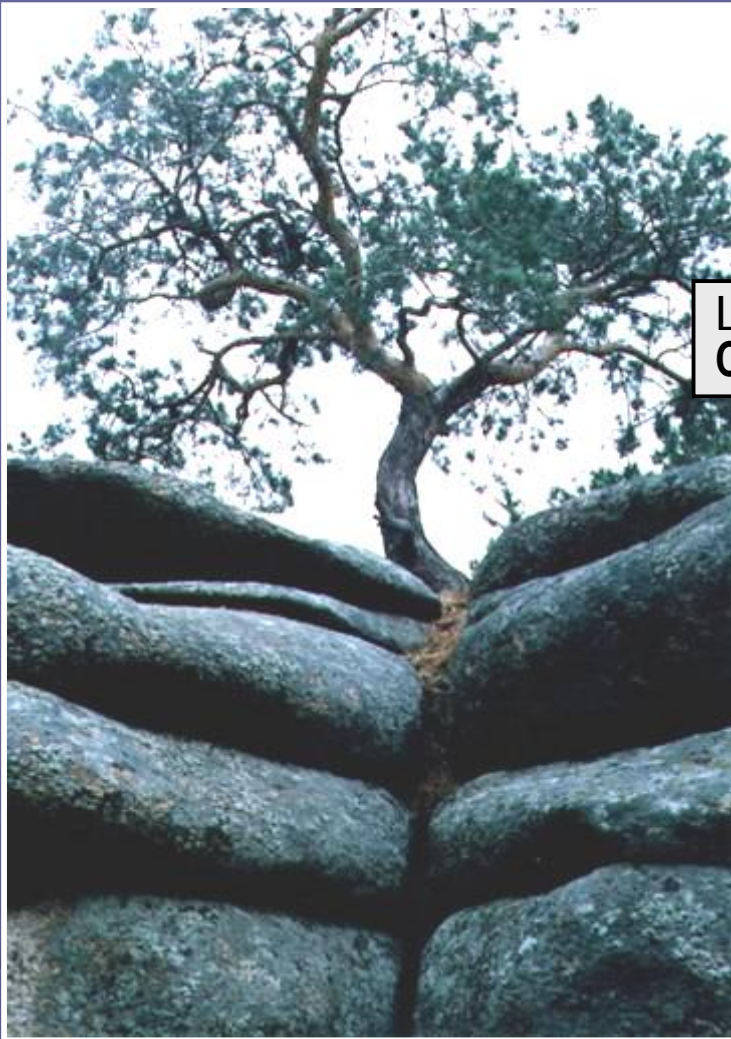
**NB!** Не совсем понятно, можно ли вообще относить *диагональные* и *краевые* трещины к прототектоническим.

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

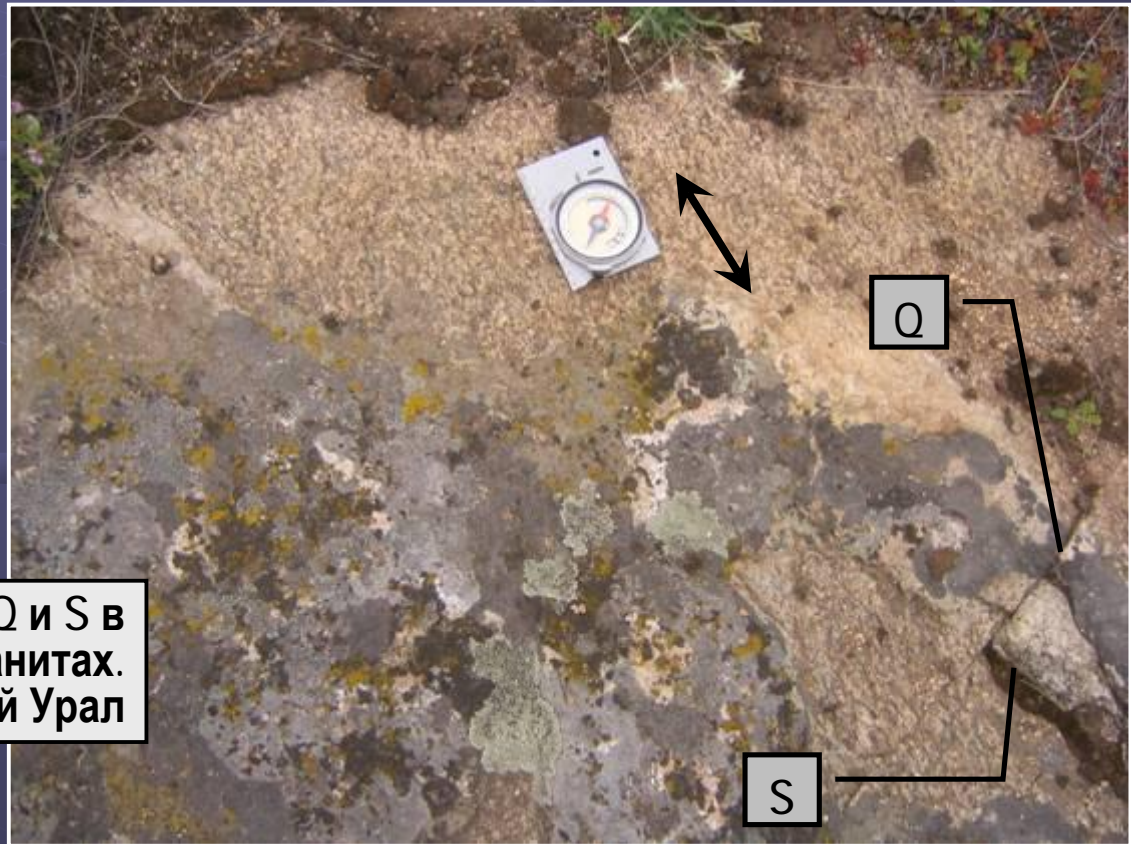


S- и Q-трещины в щелочных гранитах. Чекинский массив. Южный Урал





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



Линейность и трещины Q и S в  
биотитовых гранитах.  
Суондукский плутон. Южный Урал

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



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

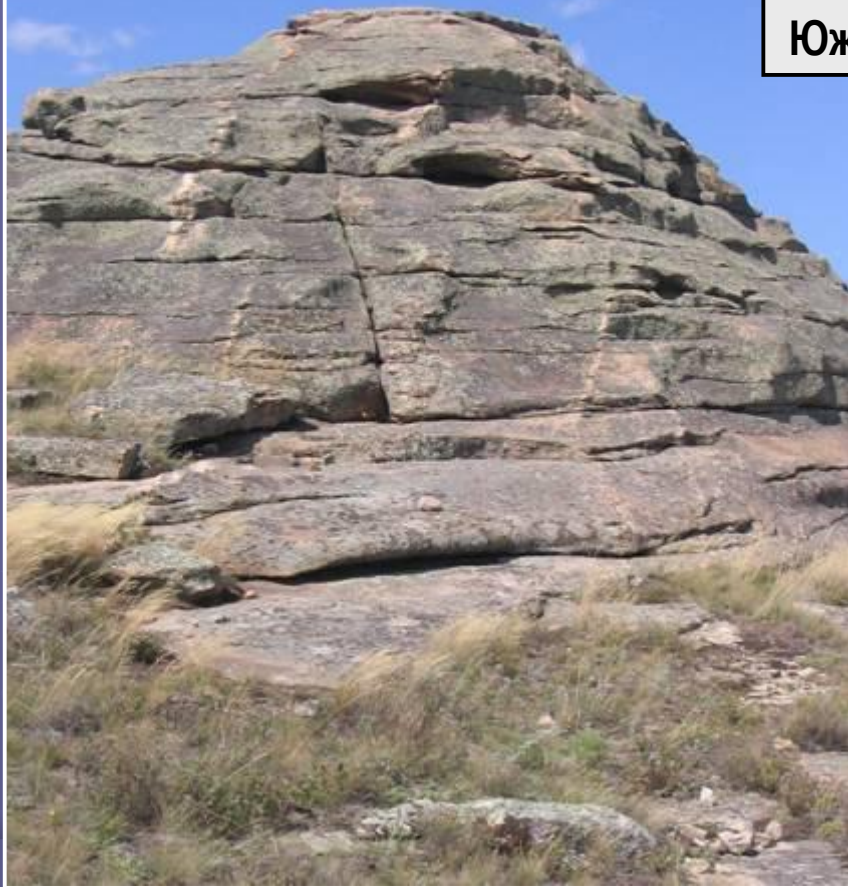


**L-трещины в гранитах.  
Суундукский плутон. Южный  
Урал (фото Т.А. Осиповой)**

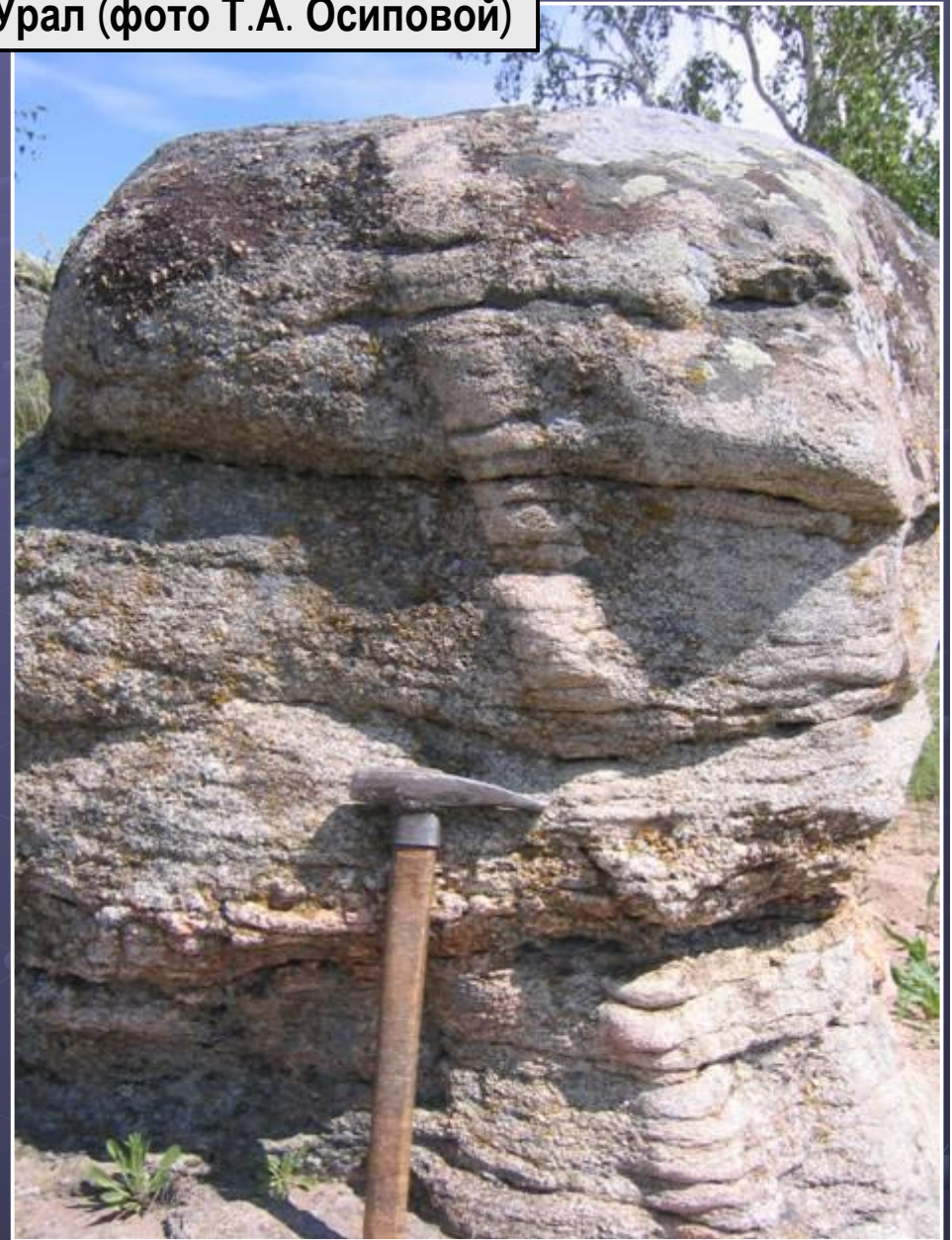


**L-трещины в лейкогранитах.  
Степнинский плутон.  
Южный Урал**

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



Прототектонические трещины формируются на протяжении всего времени остывания плутона, иногда пересекая породы разных фаз внедрения, в том числе – дайки



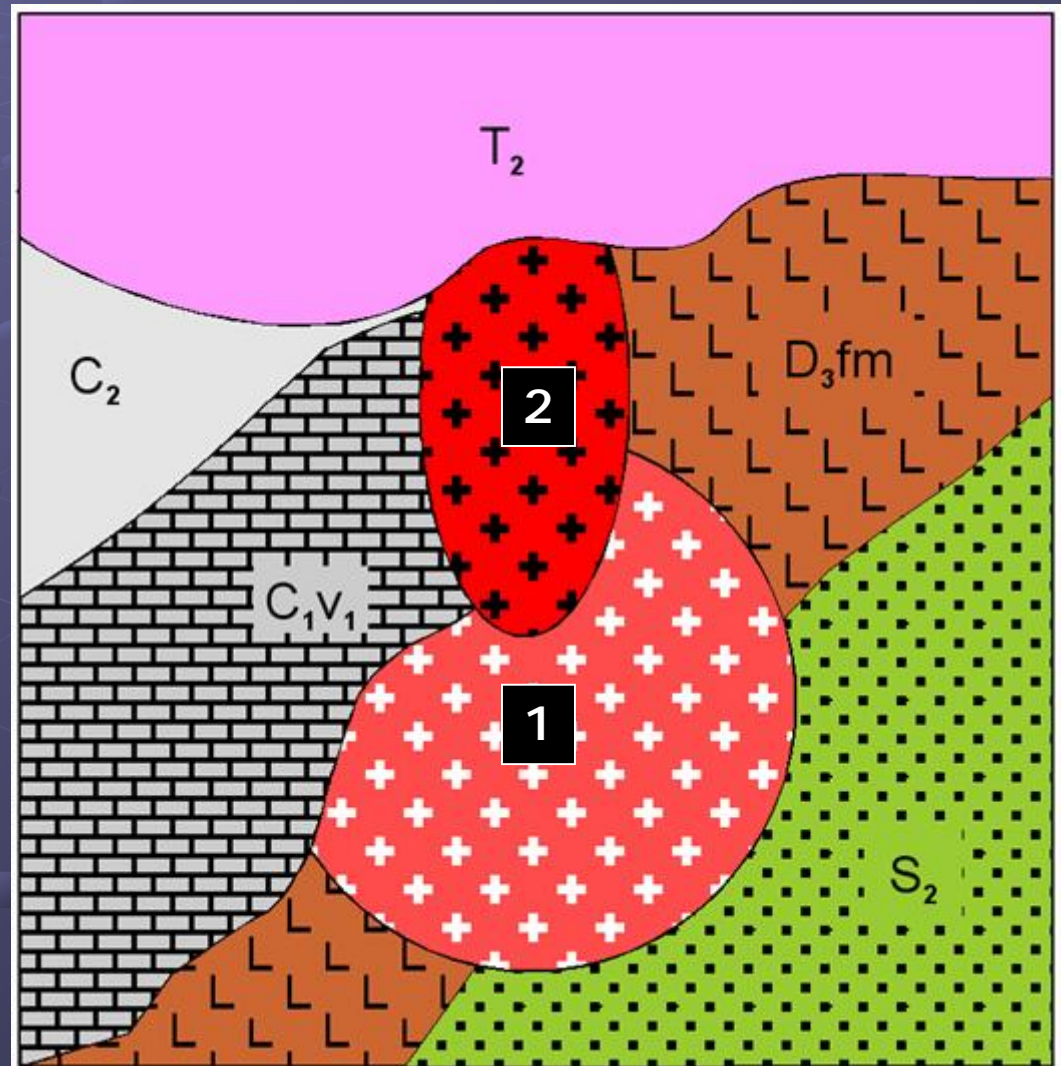


## Определение относительного возраста интрузивных массивов

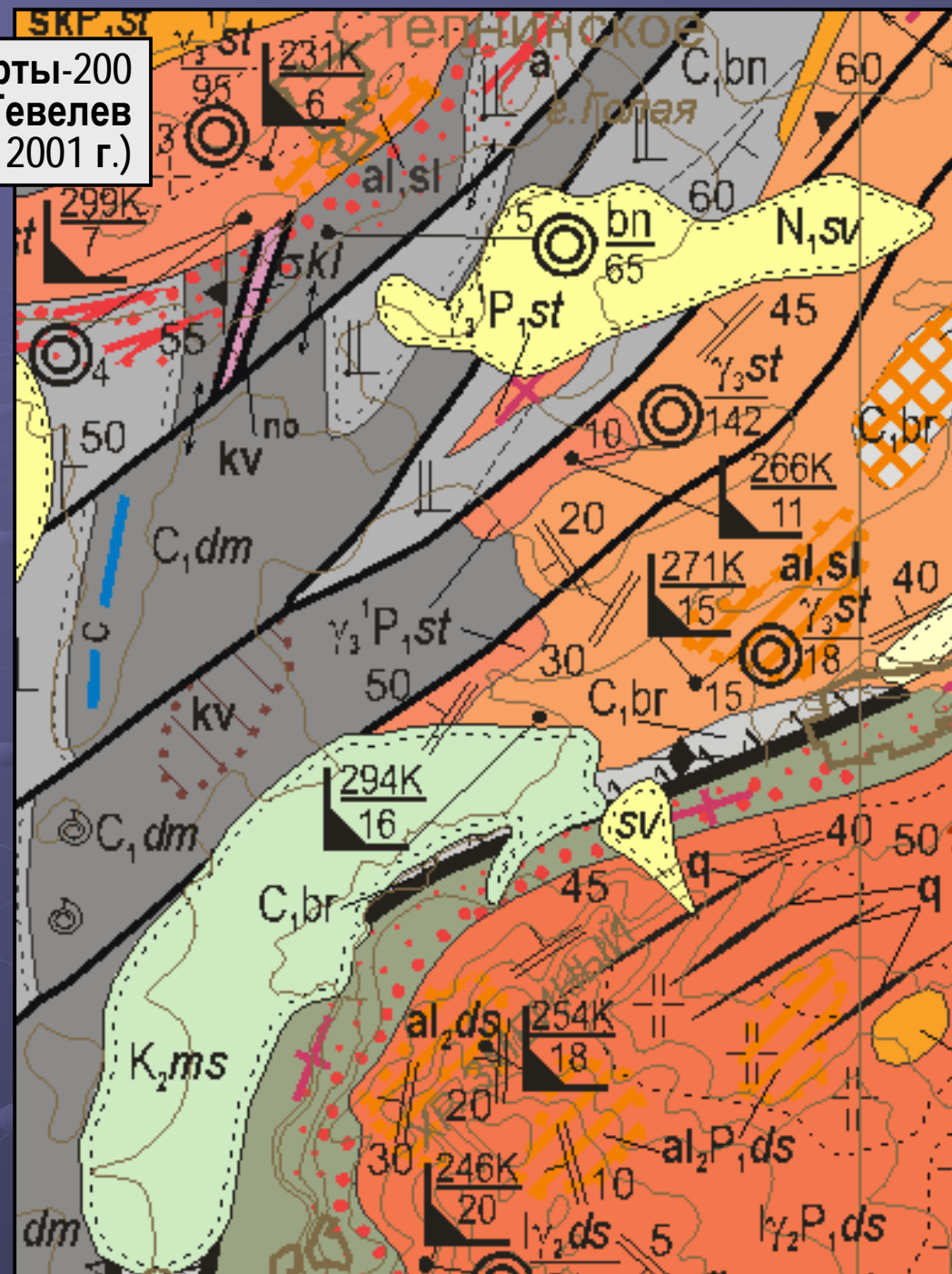
Относительный возраст интрузивов определяется по разнице между возрастом **самых молодых** толщ, прорываемых интрузивом, и **самых древних** толщ, которые его перекрывают.

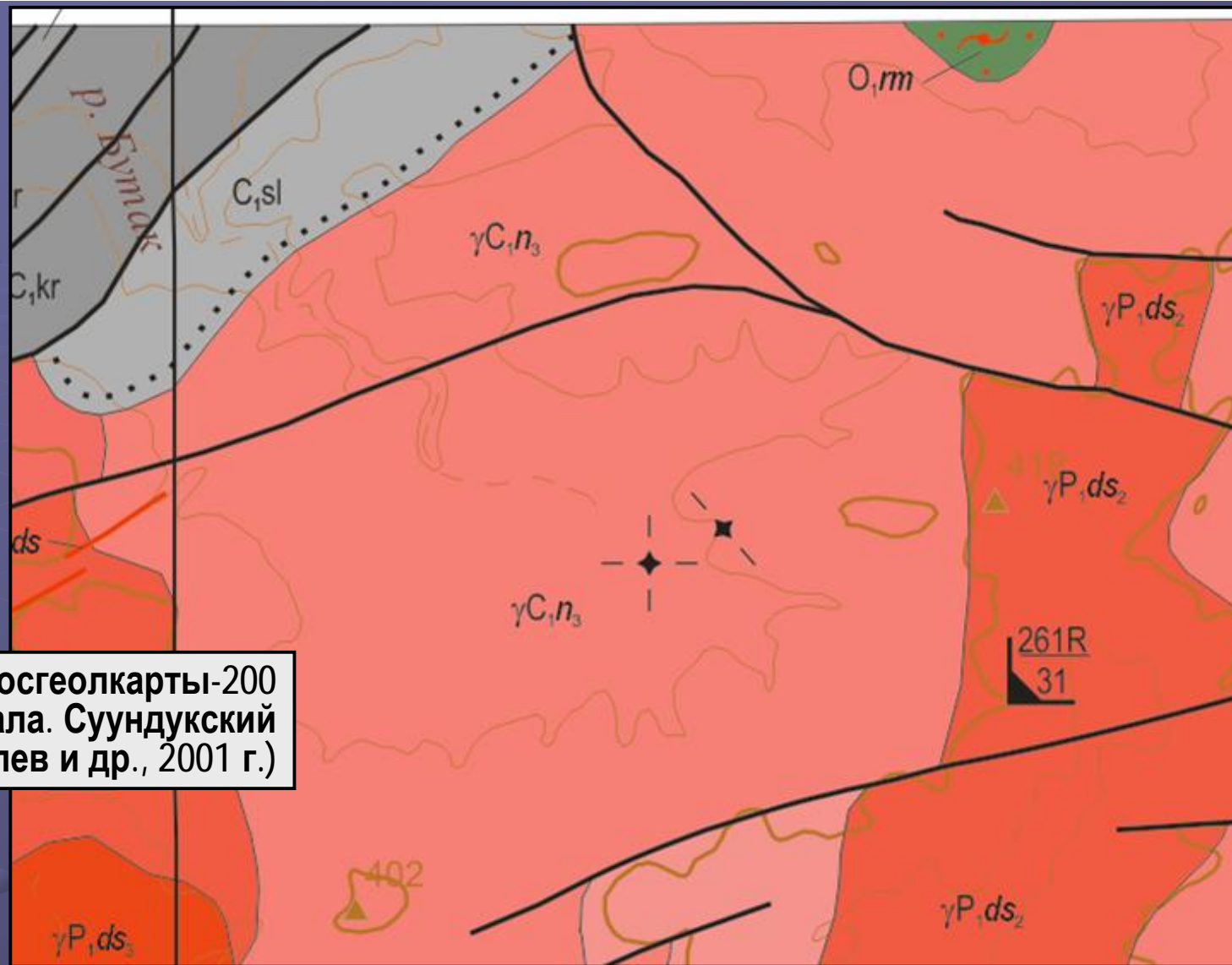
**Интрузив 1** – прорывает базальты фаменского яруса верхнего девона и перекрывается известняками визейского яруса нижнего карбона.  
**Возраст** – ранний карбон, турнейский век

**Интрузив 2** – прорывает песчаники среднего карбона и перекрывается песчаниками среднего триаса.  
**Возраст** – от позднего карбона до раннего триаса включительно



Фрагмент Госгеолкарты-200  
Южного Урала (А.В. Тевелев  
и др., 2001 г.)





Фрагмент Госгеолкарты-200  
Южного Урала. Суундукский  
плутон (А.В. Тевелев и др., 2001 г.)