

Структурная геология и геологическое картирование

Лекция № 18

«Структура метаморфических комплексов»

Метаморфизм – процесс твердофазного минерального и структурного изменения горных пород под воздействием температуры и давления в присутствии флюида [*Википедия*].

Метаморфизм – совокупность процессов, направленных на приведение горных пород к равновесному состоянию при изменении физико-химических условий... [*Г.А. Кейльман, К.К. Золоев*].

Выделяют два типа метаморфизма:

- **изохимический** (в процессе метаморфизма химический состав пород почти не изменяется);
- **аллохимический**, или **метасоматоз** (химический состав пород меняется существенно, иногда – принципиально).

Метаморфические породы (*метаморфиты*) делят на две группы:

- **парапороды** (образуются за счет осадочных пород);
- **ортопороды** (образуются за счет магматических пород).

Если для метаморфита установлена первичная порода, то для его обозначения употребляют приставку "мета..." (метаалевролит, метагранит, метабазалт и т.п.).

Типы метаморфических пород по условиям образования



"К типу **метаморфических** относятся горные породы, образовавшиеся в результате **метаморфизма**" [Виклер, 1969; Жданов, 2005 – Петрографический кодекс, 2008]

Термально-, или контактово-метаморфические

Образуются в ареале термального воздействия магматических тел, без существенных тектонических напряжений, например, **роговики**.

Динамо-, или дислокационно-метаморфические

Образуются без значительного термического воздействия, но в условиях стрессового давления, т.е. – **тектониты**

Динамо-термально-, или регионально-метаморфические

"Образуются в результате одновременного воздействия повышенной температуры... и направленного давления. Эти породы не связаны с какими-либо конкретными магматическими телами"

Метаморфические преобразования горных пород могут протекать
(1) с поглощением энергии и (2) с выделением энергии:

1 – прогрессивный метаморфизм (выражается в смене низкотемпературных и низкобарических минеральных ассоциаций на высокотемпературные и высокобарические)

2 – регрессивный метаморфизм (выражается в смене высокотемпературных и высокобарических минеральных ассоциаций на низкотемпературные и низкобарические)

Обычно прогрессивный метаморфизм сменяется во времени регрессивным либо из-за того, что исчерпываются энергетические ресурсы, либо за счет наложения повторного, но более низкотемпературного метаморфизма (**диафтореза**)

Как правило, для метаморфических комплексов характерна **метаморфическая зональность**, т.е. постепенное изменение степени метаморфизма в каком-либо направлении, что выражается в постепенной смене минеральных ассоциаций

Текстуры метаморфических пород

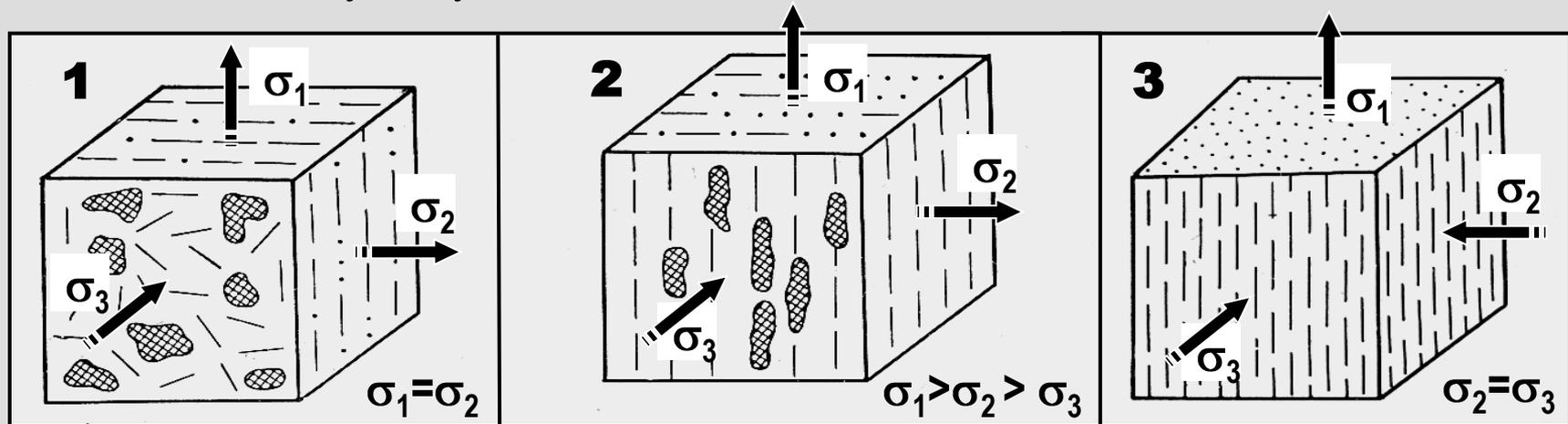
Метаморфические породы почти всегда обладают специфическими **текстурами**, из которых наиболее распространены:

- **Полосчатость** – квазислоистое расположение минералов и их агрегатов в метаморфической породе. В парапородах полосчатость может быть отражением первичной слоистости, а может быть и вновь образованной, как, например, в парагнейсах. В ортопородах полосчатость образуется за счет перераспределения минералов.
- **Сланцеватость** – плоскостная текстура метаморфических пород, образованная планпараллельным расположением пластинчатых или листоватых минералов.
- **Линейность** – текстура метаморфических пород, образованная параллельным расположением удлинённых кристаллов различных минералов или их агрегатов.

ВВ! Ориентированные текстуры в метаморфических горных породах возникают либо за счет перекристаллизации первичных минералов, либо за счет кристаллизации новых минералов (неокристаллизации). Ориентировка этих текстурных элементов определяется расположением главных осей деформации

Классификация метаморфических текстур по соотношению плоскостных и линейных элементов в породе [А.Е. Михайлов, 1984]:

- 1 – плоскопараллельная** – плоскостные элементы в метаморфической породе расположены параллельно друг другу, а линейные – хаотически, но в главной плоскости.
- 2 – линейно-плоскостная** – плоскостные элементы в метаморфической породе расположены параллельно друг другу, а линейные – параллельно им и друг другу.
- 3 – линейно-параллельная (линейная)** – линейные элементы в метаморфической породе расположены параллельно друг другу, а плоскостные отсутствуют.



Полосчатость



Параллельная полосчатость в парагнейсах
верхнего протерозоя. Ю. Урал

Полосчатость в кварцево-
полевошпатовых породах
называют гнейсовидностью



Полосчатость в метаморфических
породах может быть параллельной,
линзовидной и даже ветвящейся.

Параллельная полосчатость
в парагнейсах архея. Ю. Урал



Параллельная полосчатость в ортогнейсах протерозоя. Ю. Урал



Параллельная полосчатость в парагнейсах архея. Ю. Урал

Сланцеватость

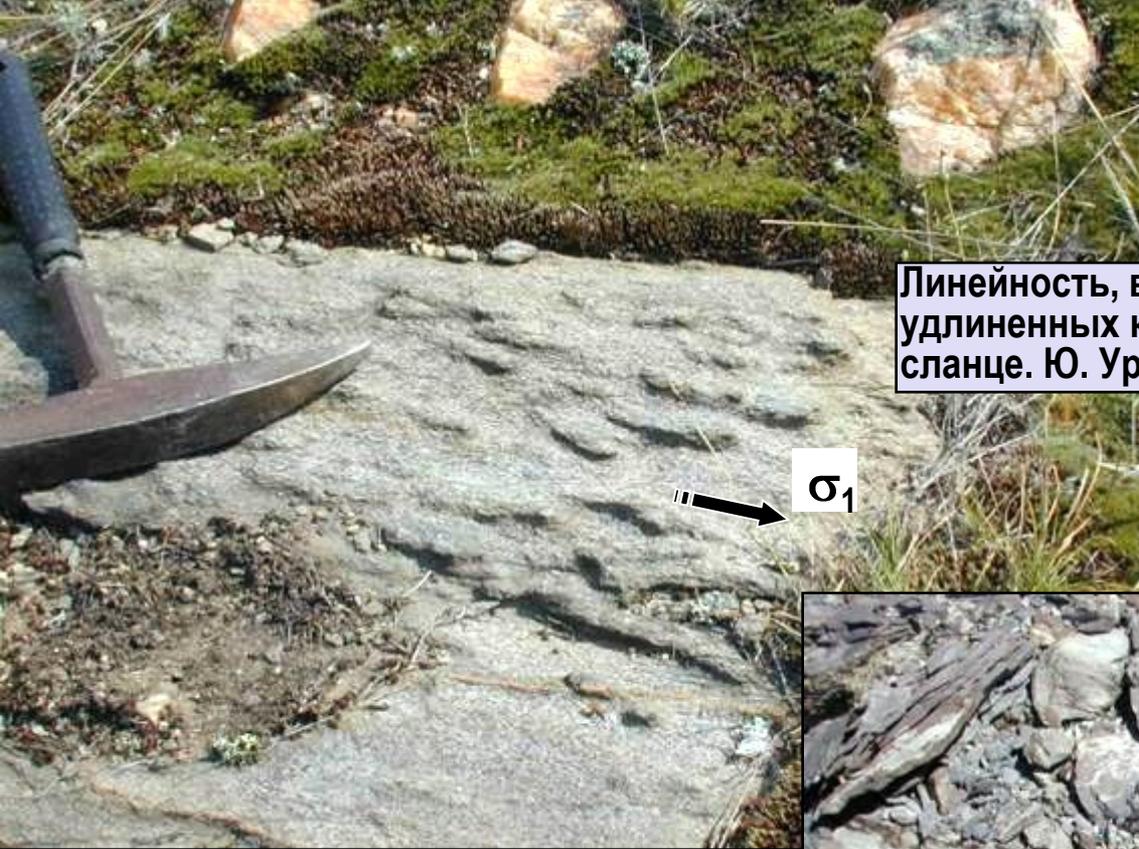


Рассланцованные мраморы
нижнего карбона. Ю. Урал.
Фото Арк.В. Тевелева

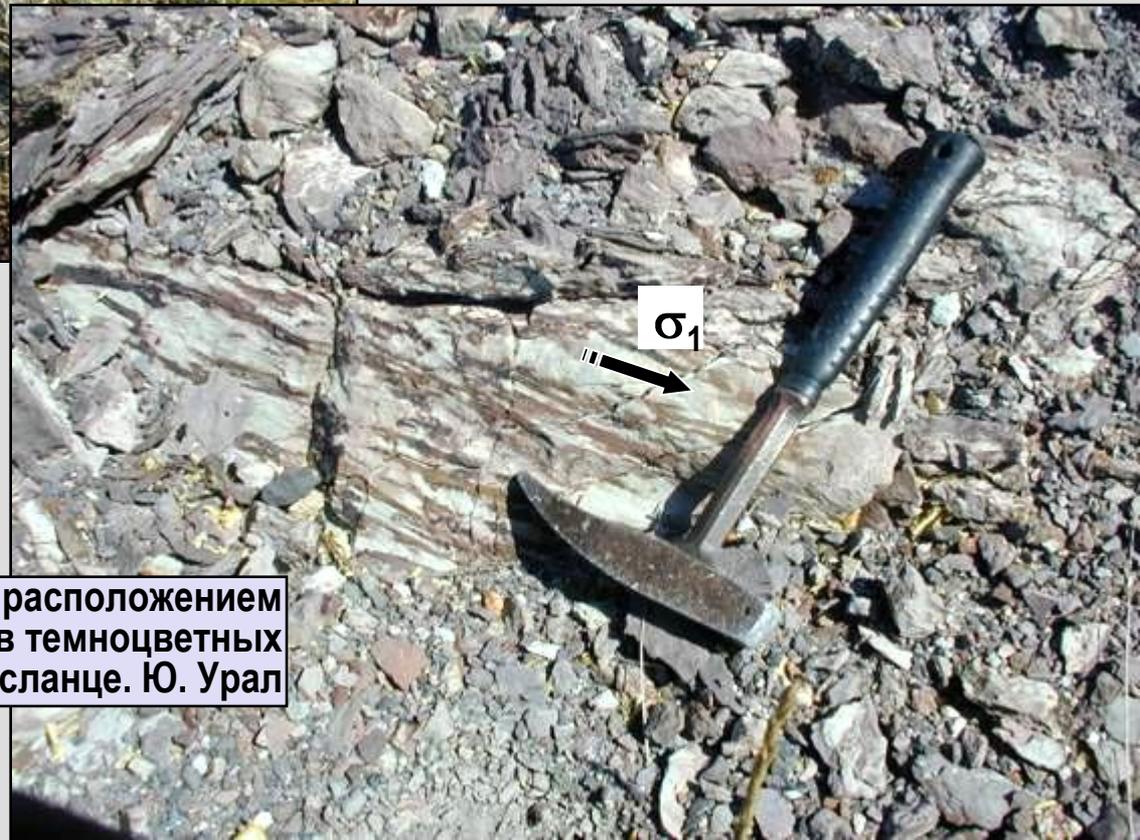


Рассланцованные мраморы
нижнего карбона с жилами кварца.
Ю. Урал. Фото Арк.В. Тевелева

Линейность



Линейность, выраженная расположением удлиненных кристаллов ставролита в сланце. Ю. Урал



Линейность, выраженная расположением удлиненных агрегатов темноцветных минералов в сланце. Ю. Урал

Для структуры метаморфических комплексов наиболее характерны мезоструктурные элементы, формирование которых связано с вязко-пластическим течением:

Вязкие разрывы – разрывы в относительно пластичной толще, связанные с пластическими деформациями вне зоны хрупких деформаций.

Складки течения (реидные) – складки пород относительно пластичной толщи, характеризующиеся интенсивным перераспределением материала вследствие вязкого течения.

Кливаж – система примерно параллельных трещин, которые разделяют горную породу на серию пластин без видимого смещения их друг относительно друга.

Структуры вязкого будинажа – ритмически пережатый слой, залегающий среди других пород, сегментированный за счет вязкого течения.

Птигматитовые складки – нерегулярные складки, в которые сминаются гидротермальные и другие жилы вследствие вязкого течения вмещающих пород

Вязкие разрывы

При высокой пластичности пород формируются не хрупкие, а вязкие разрывы, смещение по которым может прослеживаться только на определенном отрезке – среди более вязких пород. В менее вязких разрыв переходит в пластическую деформацию.



Вязкий разрыв в архейских гнейсах, параллельный осевой поверхности складки. Ю. Урал.



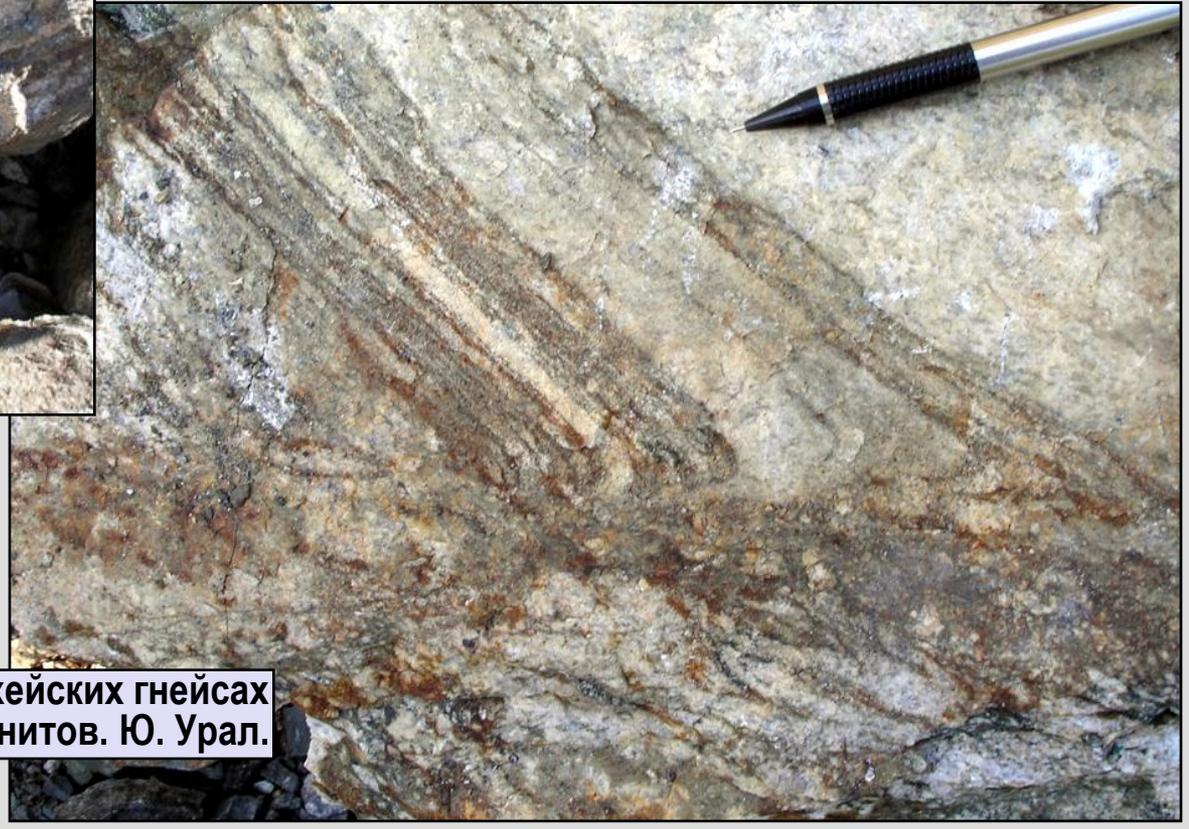
Архейские гнейсы. Серия вязких разрывов, параллельных осевой поверхности асимметричных складок. Ю. Урал.

Вязкие разрывы практически всегда сопровождаются складками волочения.



Вязкий разрыв в архейских гнейсах,
поперечный к осевой поверхности
складки. Ю. Урал.

Вязкие разрывы очень редко
сопровождаются катаклазитами,
причем чаще – милонитами.



Вязкий разрыв в архейских гнейсах
с зоной милонитов. Ю. Урал.

Складки течения

Мелкокристаллические мраморы (углеродистые) производят впечатление более "текучих" за счет четко выраженной полосчатости



Складки течения в полосчатых мраморах раннего карбона в экзоконтактовых частях батолита. Ю. Урал.



Менее компетентные породы часто слагают не только слои, но и дают просечки, "затекая" в трещины и образуя секущие полосы

Складки течения часто бывают сильно сжатыми – изоклиналильными, с резко выраженными зонами дисгармонии в замках

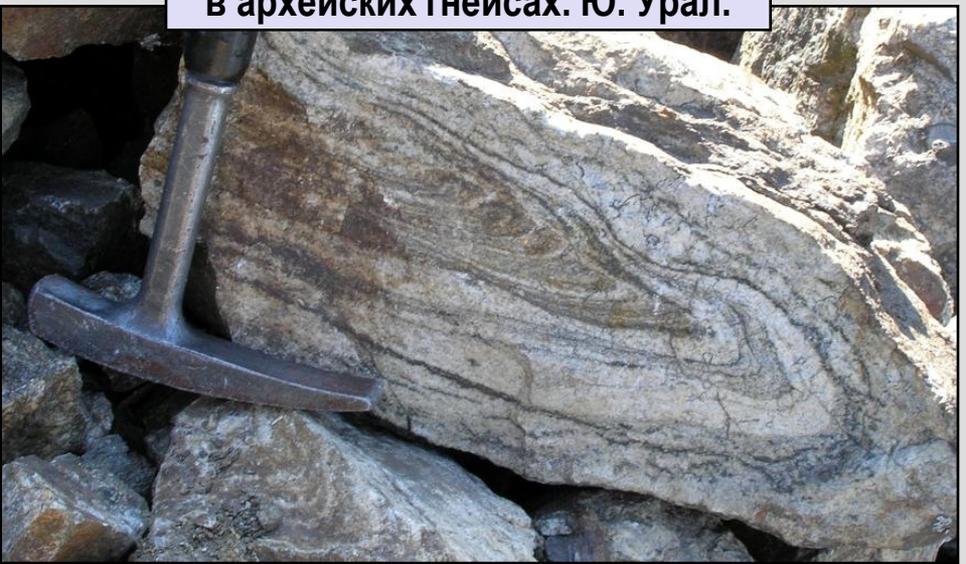
Дисгармоничные складки течения в архейских гнейсах. Ю. Урал.



Дисгармоничные складки течения в архейских гнейсах. Ю. Урал.



Изоклиналильные складки течения в архейских гнейсах. Ю. Урал.





Плойчатость в полосчатых мраморах в сочетании с осевым кливажем. Северо-Муйская структура. Фото А.Б. Кирмасова

Полосчатость метаморфических пород бывает смята в систему мелких складок, которая называется **ПЛОЙЧАТОСТЬЮ**



Плойчатость в полосчатых гнейсах в сочетании с осевым кливажем. Карелия. Фото А.Б. Кирмасова

Структуры будинажа



Часто образование складок в метаморфитах сопровождается возникновением структур будинажа



"Вязкие будины" в археских гнейсах с затеками матрикса в пережимы

"Вязкие будины" в протерозойских гнейсах с минерализованной зоной (высокотемпературный кварц) и затеками матрикса в перемычку. Ю. Урал



В глубоко метаморфизованных толщах развивается будинаж с вязким растаскиванием будин, образованием "шеек" и затеками в них матрикса, а также перемычек (минерализованных зон)

Складки течения в полосчатых мраморах с будинами углеродистых мраморов в "чистых" мраморах. Ю. Урал.

Мелкокристаллические мраморы, слои которых легко будинируются, оказываются, существенно более компетентными породами, чем крупнокристаллические



При значительной разнице в вязкости будинированного слоя и матрикса даже в сильно метаморфизованных толщах могут возникать будины по сколам и отрывам

Будинированный слой амфиболитов в архейских гнейсах. Ю. Урал.

Птигматитовые складки

Птигматитовые складки кварцевой жилы. Северо-Муйская структура. Фото А.Б. Кирмасова

Один из характерных элементов структуры метаморфитов – изоклиналиные птигматитовые складки, в которые сминаются разнообразные гидротермальные жилы в условиях пластического течения



Птигматитовые складки кварцевой жилы. Максютковский комплекс, Ю. Урал. Фото А.В. Рязанцева

Метаморфизм и общая структура

При расшифровке структуры метаморфических комплексов принято разделять их два класса:

- **Супраструктура** – обобщённое название осадочных и вулканогенных пород, образовавшихся на поверхности Земли и не претерпевших интенсивного преобразования. Образует верхний этаж складчатых областей, отличающийся более низкой степенью метаморфизма в сравнении с инфраструктурой [Ч.Б. Борукаев, 1998]. Эта более низкая степень метаморфизма часто понимается именно как "*относительно более низкая*". Породы супраструктуры могут быть достаточно сильно метаморфизованы.
- **Инфраструктура** – обобщённое название всех разгнейсованных, мигматизированных и гранитизированных пород, возникших при преобразовании супраструктурных. Образует нижний этаж складчатых областей, отличающийся повышенной степенью метаморфизма в сравнении с супраструктурой [Ч.Б. Борукаев, 1998].

Обычно инфраструктура представлена гнейсовыми и гранито-гнейсовыми куполами и валами.

Супраструктура



Ведущим механизмом формирования складчатой структуры метаморфических комплексов является пластическое течение, которое чаще проявлено в карбонатах и в кварцитах



Сложные складки
в кварцитах и джеспилитах.
Южный Улутау, Ц. Казахстан.
Снимки GoogleEarth



Инфраструктура. Основные элементы



Как правило, **инфраструктура** представлена гранито-гнейсовыми куполами и гранито-гнейсовыми валами.

Купол гранито-гнейсовый – поднятие слоев земной коры, центральная часть которого сложена относительно полого залегающими гранито-гнейсами или гнейсами, иногда прорванными гранитами, а периферия – кристаллическими сланцами всё более низких степеней метаморфизма, смятыми в мелкие складки, обычно наклоненными к центру купола [В.Е. Хаин]

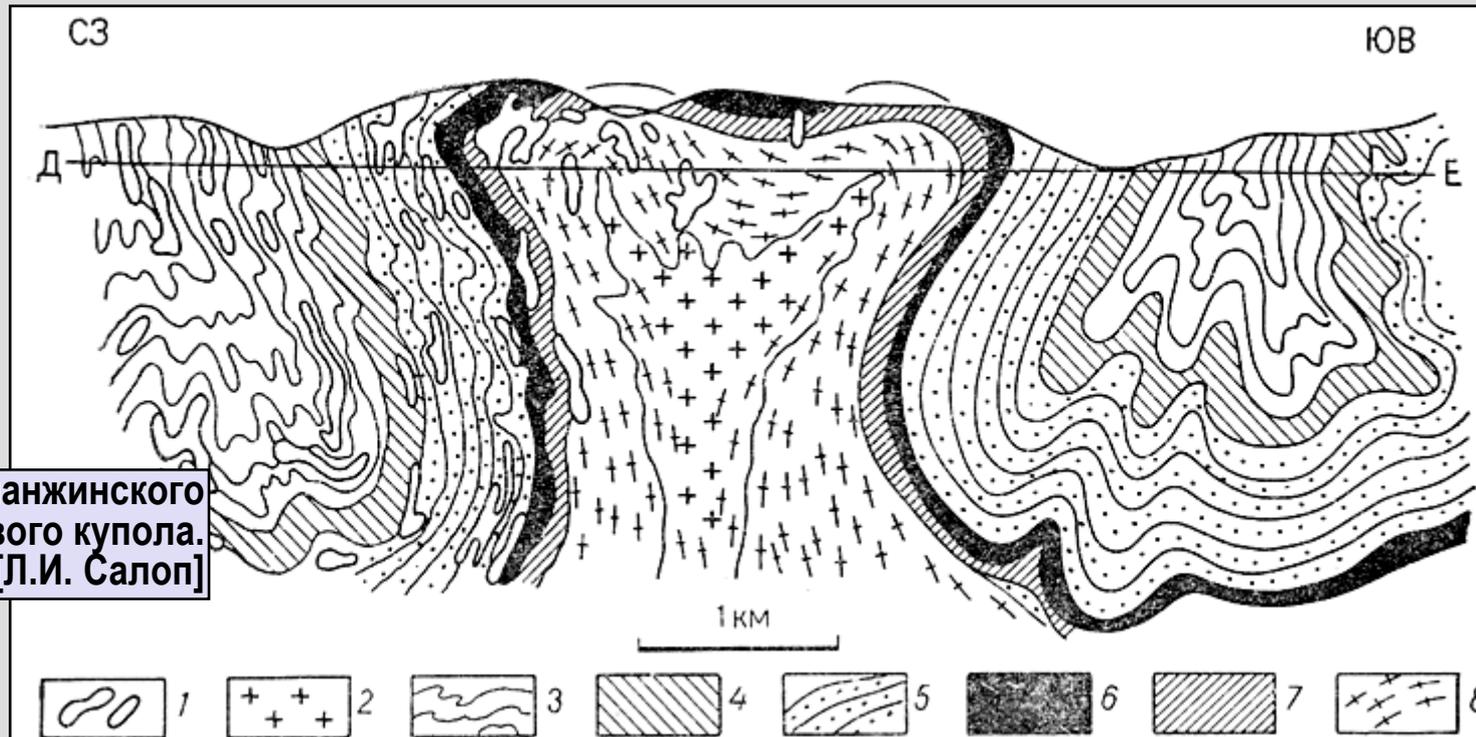


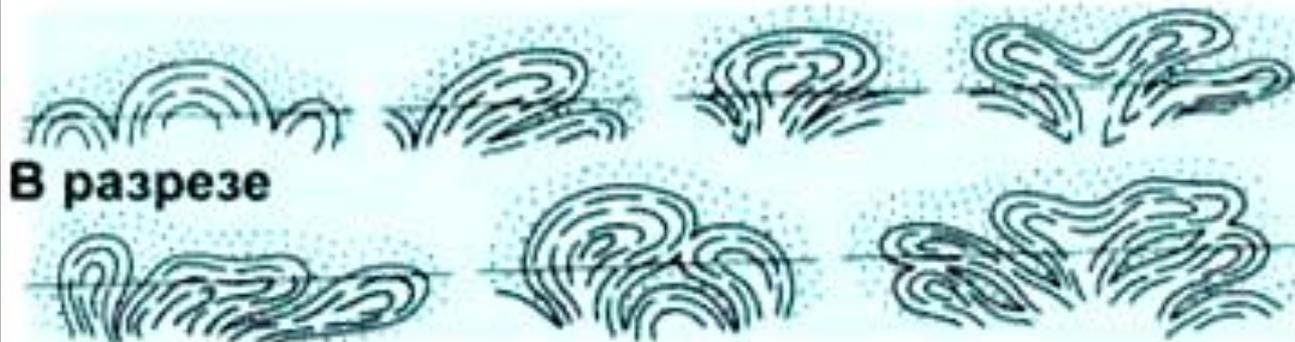
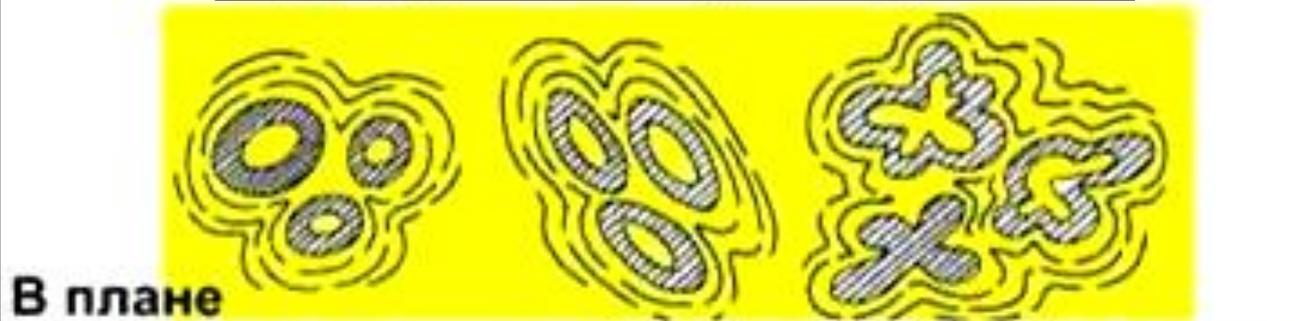
Схема строения Джеланжинского гранито-гнейсового купола. Мамский р-н [Л.И. Салоп]

Кровля гранито-гнейсовых куполов обычно экранируется подошвой пакетов покровных аллохтонных пластин

Структурные рисунки гранито-гнейсовых куполов
[О.М. Розен и В.С. Федоровский]

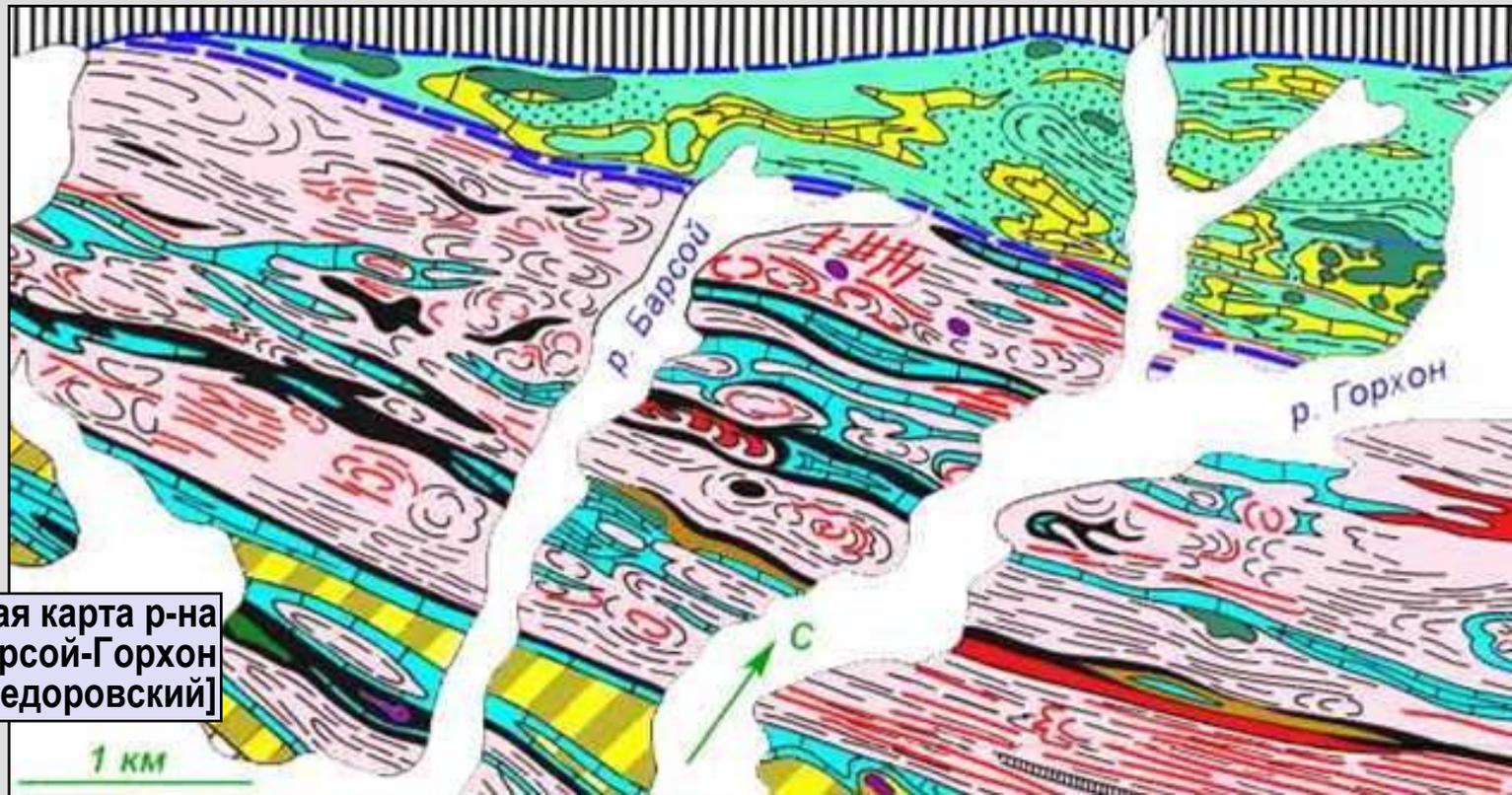
Купола и межкупольные синформы

формируют структурные ансамбли сложной морфологии. Как правило они составляют многоэтажные композиции, деформируют в процессе своего роста не только друг друга, но и вышележащую оболочку [О.М. Розен, В.С. Федоровский]



Купольный тектогенез сопровождается возникновением структурного несоответствия ядра (инфраструктуры) и обрамления (супраструктуры), связанного с тепловой конвекцией вещества и формированием интерференционных структур в ядрах куполов.

С другой стороны, одновременное проявление последних эпизодов покровных деформаций и начальных этапов куполообразования завершается формированием и других интерференционных композиций, а также линейризацией растущих куполов, т.е. раздавливанием первоначально изометричных куполов и формированием гранито-гнейсовых валов [О.М. Розен, В.С. Федоровский].

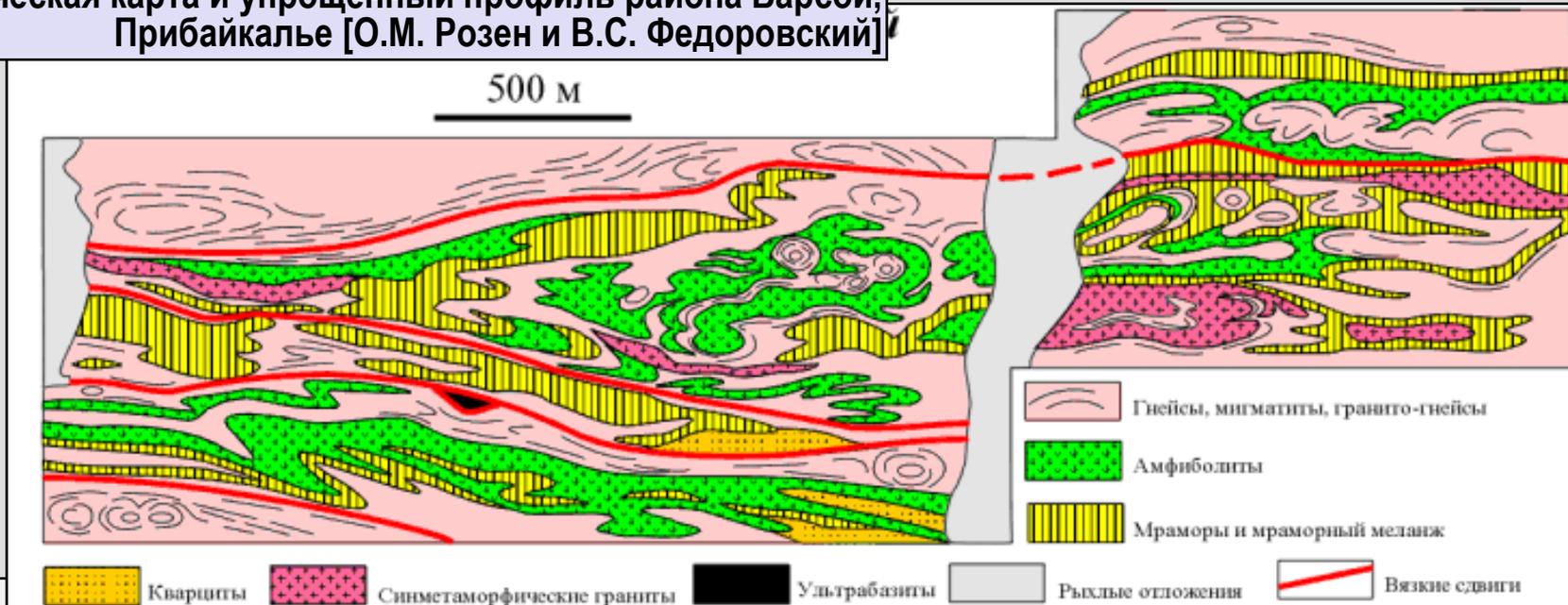


Геологическая карта р-на
Анга-Барсой-Горхон
[О.М. Розен, В.С. Федоровский]

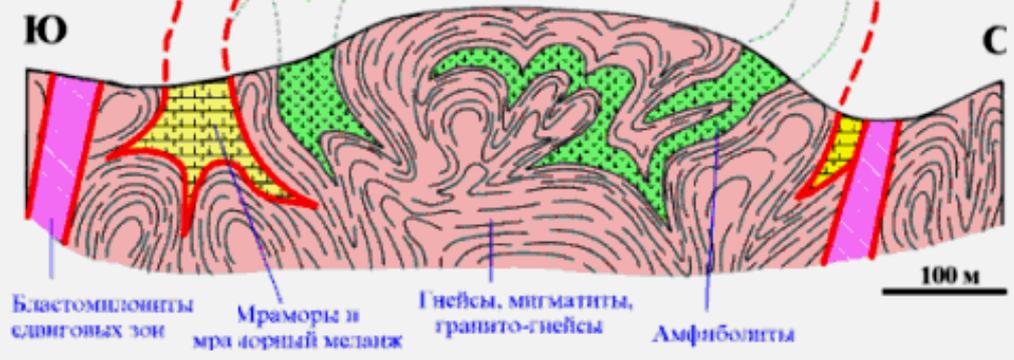
Примеры



Геологическая карта и упрощенный профиль района Барсой, Прибайкалье [О.М. Розен и В.С. Федоровский]



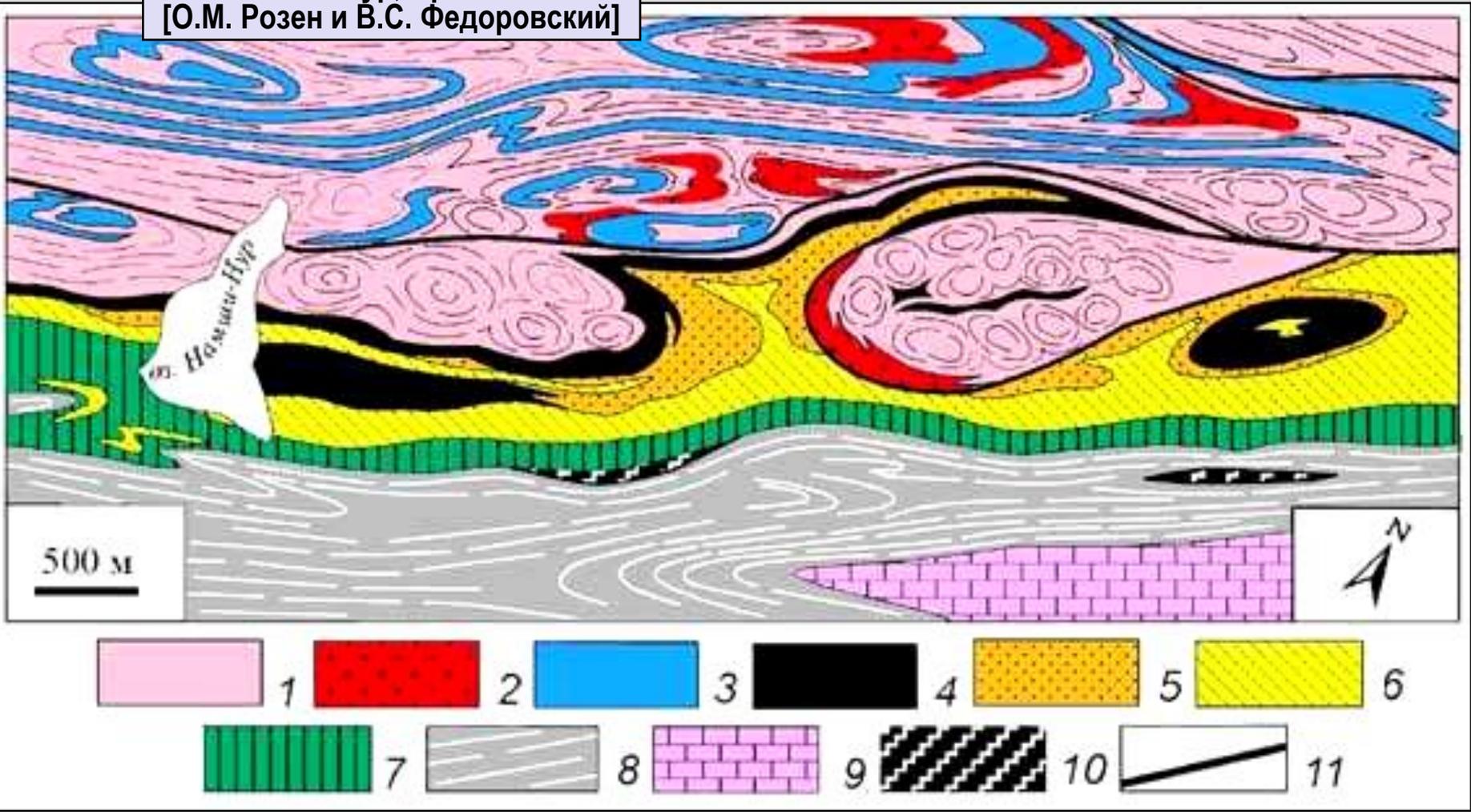
Упрощенный профиль через купол Барсой



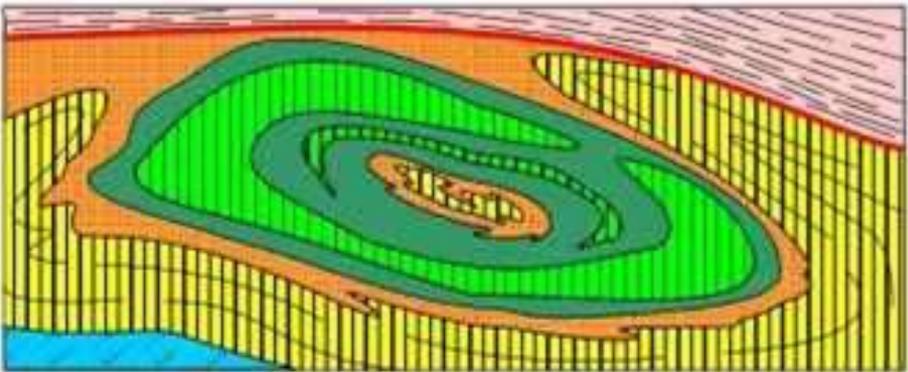
Линейные полосы гранито-гнейсовых куполов разделены сдвиговыми зонами, представленными бластомилонитами.

Купола раздавлены, их структура не соответствует структуре обрамления

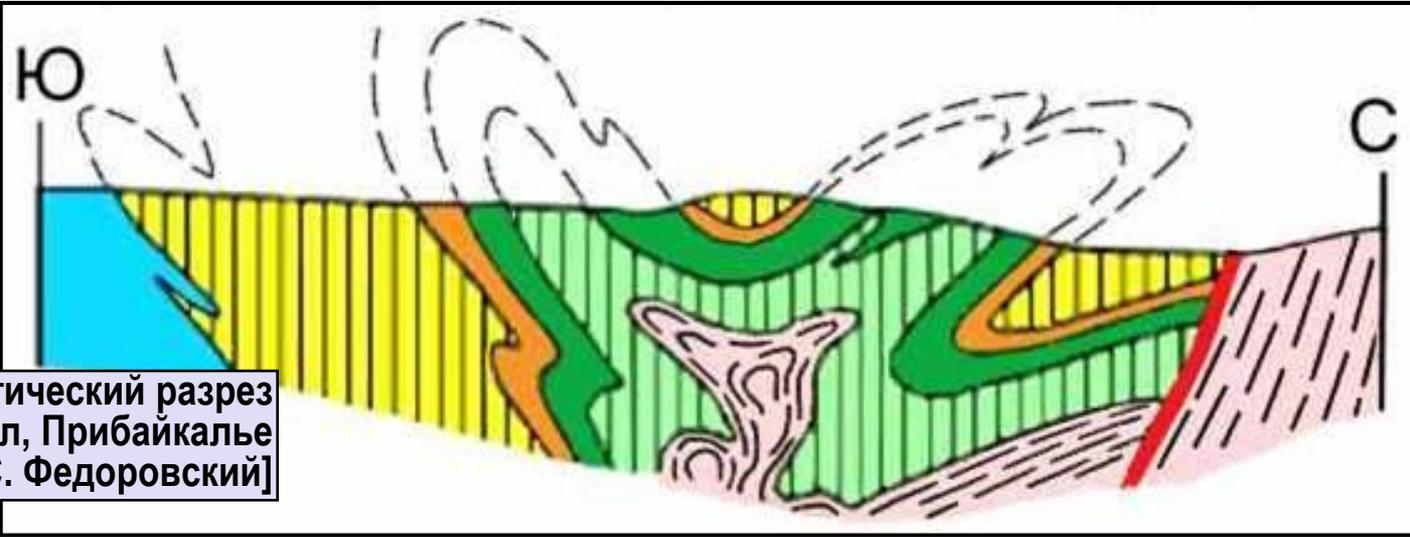
Геологическая карта района оз. Намши-Нур, Прибайкалье [О.М. Розен и В.С. Федоровский]



1 – гнейсы; 2 – граниты и гнейсо-граниты; 3 – амфиболиты гнейсовой толщи;
 4 – амфиболиты основания толщи, перекрывающей купола;
 5–9 – метаосадочные породы супраструктуры; 10 – серпентиниты; 11 – разрывы



Геологическая карта и аэрофотоснимок района купола Овал, Прибайкалье [О.М. Розен и В.С. Федоровский]



Схематический геологический разрез купола Овал, Прибайкалье [О.М. Розен и В.С. Федоровский]

По представлениям некоторых исследователей сложные интерференционные складки могут возникать за счет **горизонтального выдавливания** ранее сформированных складок при пластическом течении. То есть и в такой модели определяющая роль отводится формированию сдвиговых зон



Схематическая модель структуры Карельского массива
[М.Г. Леонов, 2001]

Мигматиты

● **Мигматиты** (от греческого *migma* – смесь) – метаморфические горные породы, состоящие из исходного кристаллического сланца, "пропитанного" гранитным веществом. Мигматиты – характерный элемент строения гранито-гнейсовых куполов, относящимся к наиболее преобразованным их частям.

По генезису гранитного вещества различают две разновидности мигматитов:

- **инъекционно-метасоматические мигматиты** возникают при внедрении многочисленных маломощных струй магмы в матрикс, состоящий из кристаллических сланцев и гнейсов;
- **палингенные мигматиты** возникают при локальном переплавлении вещества на месте (*in situ*).



Парагнейсы архея с инъекциями лейкогранитов. Ю. Урал

**Метамонцониты с инъекциями
пегматоидных гранитов (Ю. Урал)**

Инъекции вытянуты конформно
общему разгнейсованию пород и
распределены неравномерно

Инъекции образуют мелкие
пигматитовые складки,
разветвляются и выклиниваются

**Метамонцониты с инъекциями
пегматоидных гранитов (Ю. Урал)**



**Мигматиты слюдяногорской свиты.
Ю. Урал. Фото С.А. Белякова**

Инъекции слагают линзы и смяты
в складки вместе с гнейсами



Инъекции иногда образуют
единую полосчатую текстуру с
кристаллическими сланцами и
гнейсами

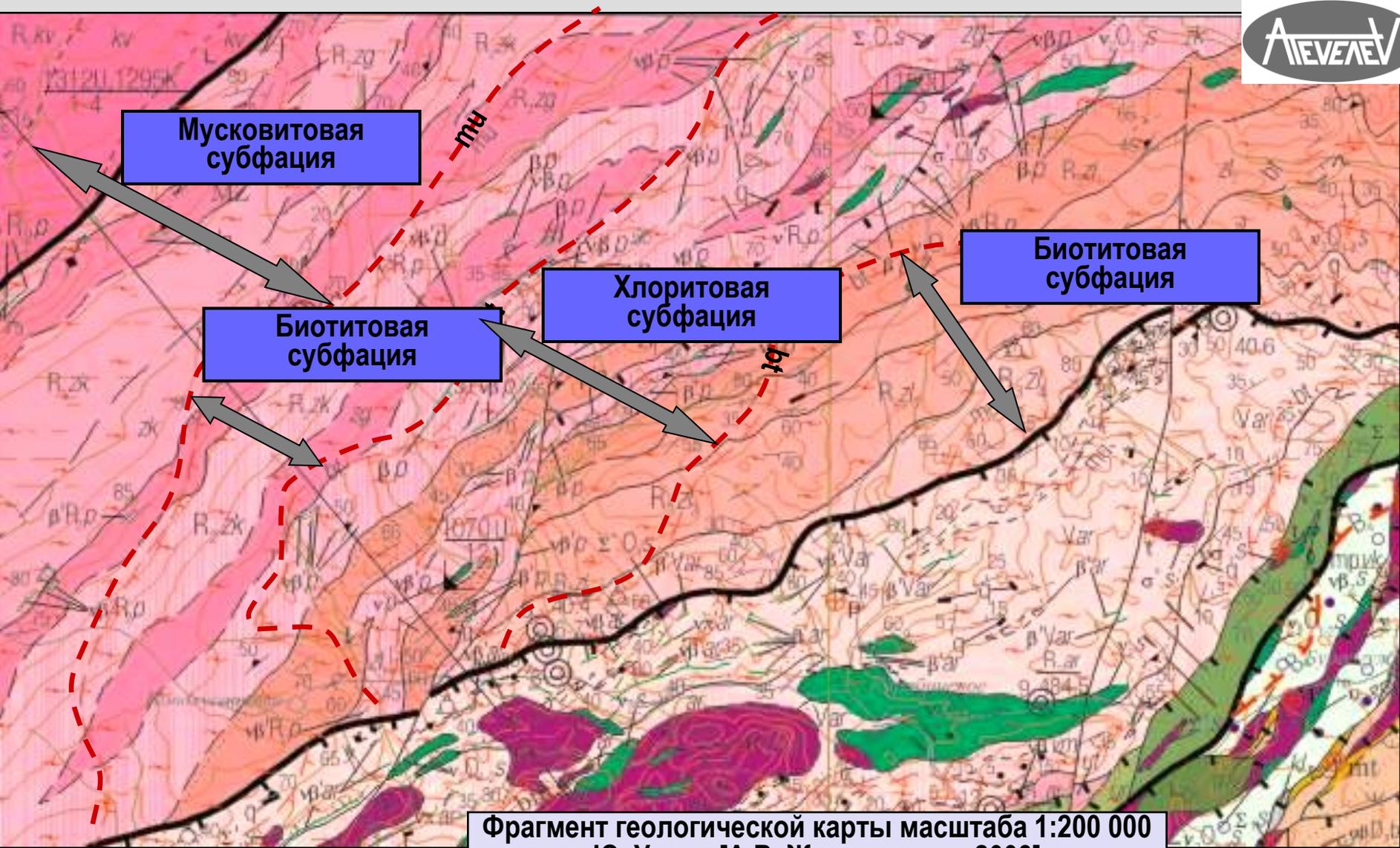
**Плагиомигматиты селянkinской свиты.
Ю. Урал. Фото С.А. Белякова**



**Будинированная дайка габброидов в мигматитах.
(Карелия, фото А.Б. Кирмасова)**



**Будины относятся к блочному типу, они разделены отрывами.
Мигматиты заполняют межбудинное пространство**



Мусковитовая
субфация

Бiotитовая
субфация

Хлоритовая
субфация

Бiotитовая
субфация

Фрагмент геологической карты масштаба 1:200 000
Ю. Урала [А.В. Жданов и др., 2003]

ПРИМЕР

Что это за мезоструктура?

Как располагаются главные напряжения?



В вертикальных тонкослоистых аргиллитах наблюдаются сопряженные системы кинк-зон. Поверхности излома 1 системы имеют простирание СВ-55, а 2 системы – СЗ-295. Определите элементы залегания аргиллитов.

На рисунке стрелками показаны направления минимального (белые) и среднего (серые) главных напряжений (модель Андерсона). Нарисуйте, пожалуйста, положение **трещин скола и отрыва**.

