

Структурная геология и геологическое картирование

Лекция № 19

«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...**" (**мета**алевролит, **мета**гранит, **мета**базальт и т.п.).

Типы метаморфических пород по условиям образования

[Петрографический кодекс, 2008]

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

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

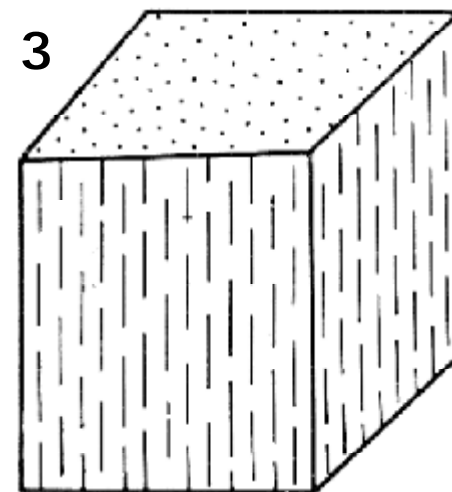
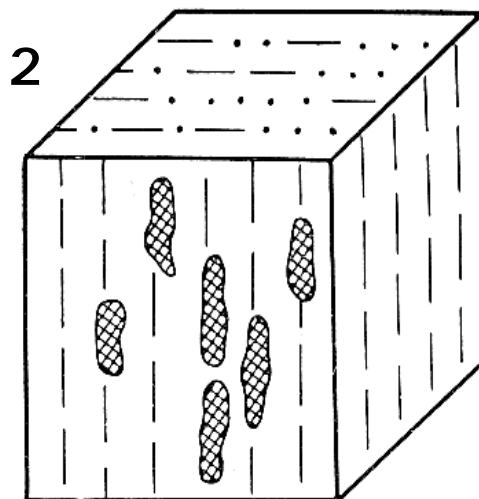
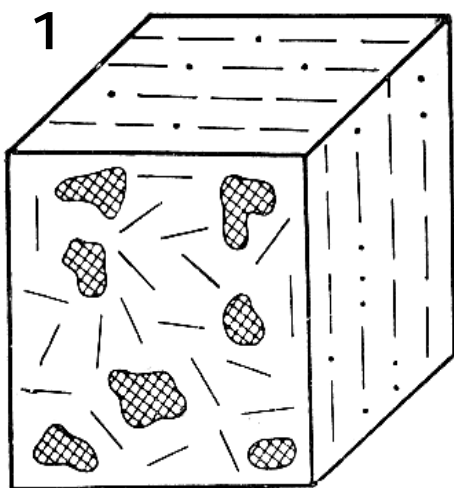
Метаморфические породы почти всегда обладают специфическими **текстурами**, из которых наиболее распространены:

- **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. Примеры



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 протерозоя. Малага. Испания



Параллельная полосчатость в амфиболитах протерозоя. Ю. Урал



Параллельная полосчатость в парагнейсах протерозоя. Ю. Урал

Сланцеватость. Примеры



Гранат-биотитовые сланцы рифея с линзовидными будинами жильного кварца. Ю. Урал



Сланцеватые амфиболиты ордовика. Ю. Урал

Линейность. Примеры



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



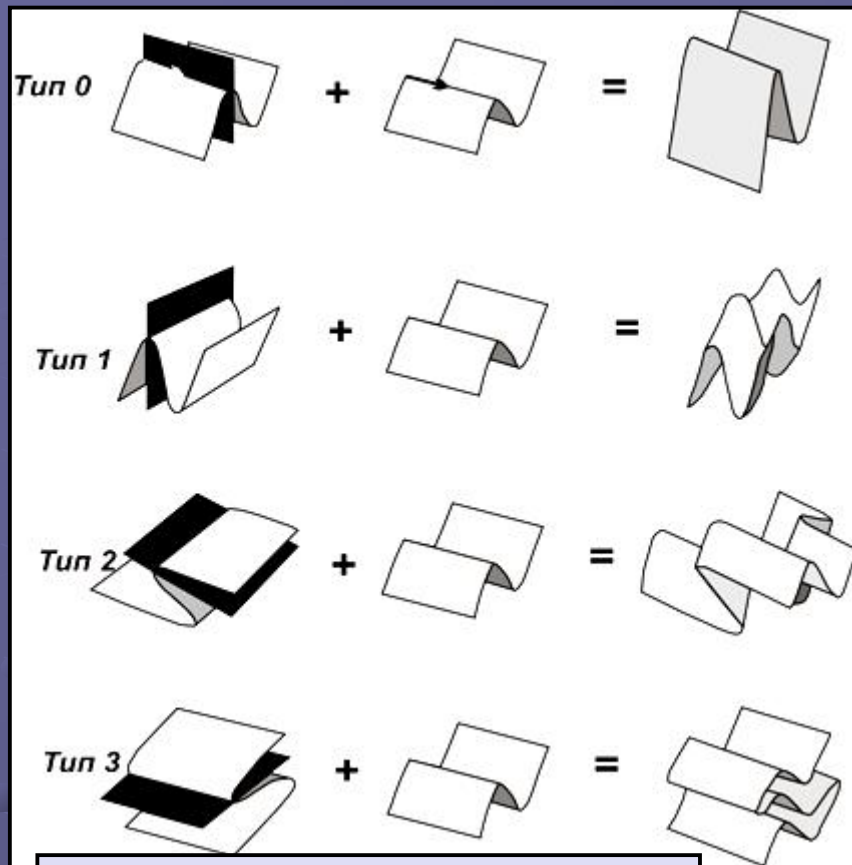
Линейность, выраженная расположением удлиненных агрегатов темноцветных минералов в сланце. Ю. Урал

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.

Деформации супраструктуры



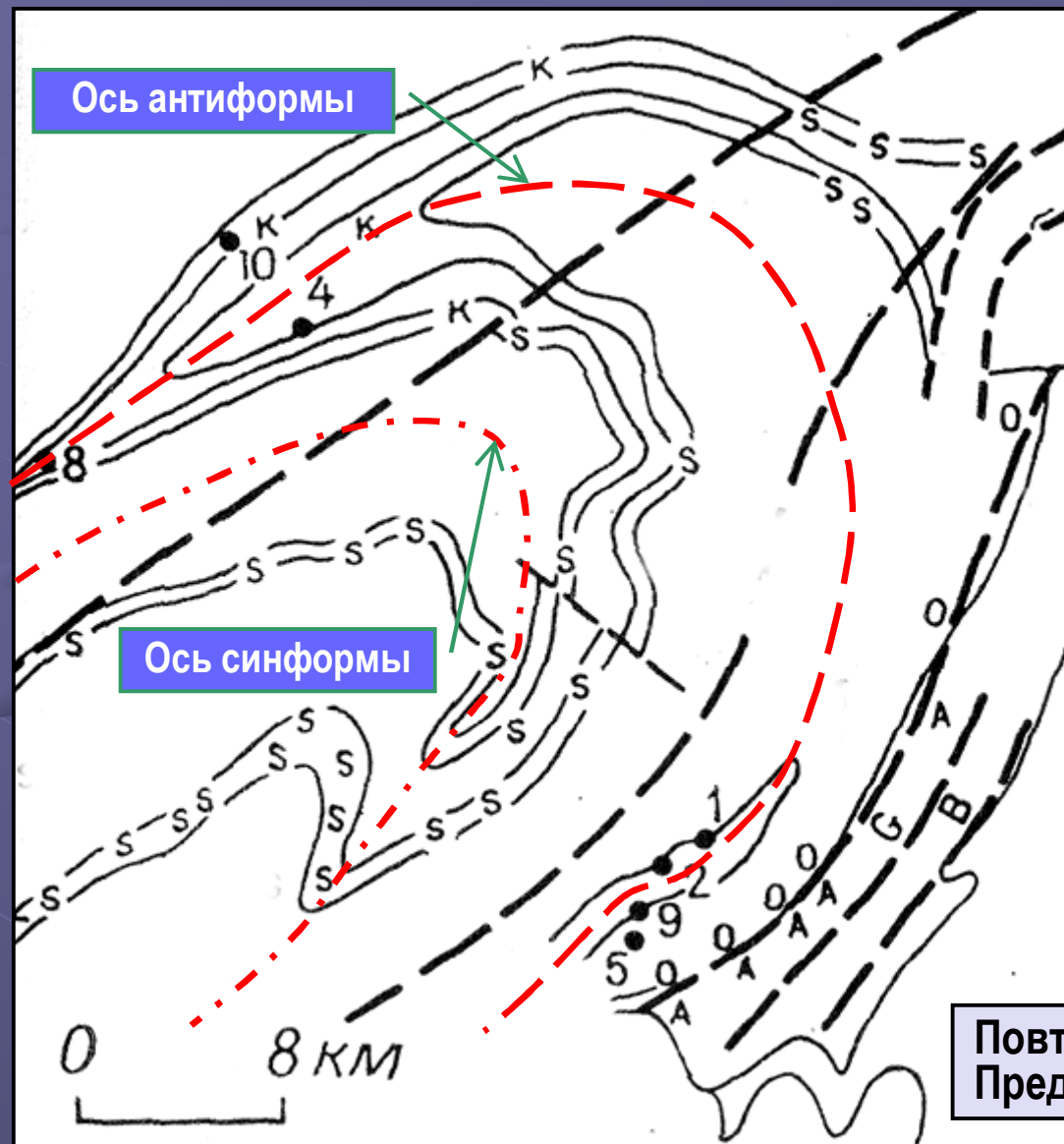
Характер и некоторые типы интерференционных складок, образованных в два этапа деформаций. Результирующая структура получается при наложении двух морфологических типов складок

В комплексах супраструктуры наблюдаются разные типы складчатости: от одноактной простой до многоактной сложной, часто – интерференционной.

Типы интерференционных складок:

- **Тип 0** – совмещаются складки близкой геометрии и ориентировки.
- **Тип 1** – пересекаются вертикальные складки с ортогонально ориентированными осями, в результате образуется структура «картонной упаковки для яиц».
- **Тип 2** – лежачие складки пересекаются вертикальными складками с ортогонально ориентированными осями.
- **Тип 3** – лежачие складки пересекаются вертикальными складками, с параллельно ориентированными осями.

NB! 1. Тип 0 не всегда является, строго говоря, интерференционным и определяется тяжело.
2. Некоторые типы интерференционных складок могут быть получены за 1 акт



При наложении нескольких этапов тектогенеза осевые поверхности складок могут сами смяты в складки различных типов, в данном случае – в складку с вертикальным шарниром.

Очень часто в комплексах метаморфических пород невозможно установить первичную последовательность, поэтому обычно говорят не о синклиналиях и антиклиналиях, а о синформах и антиформах

Повторно смятая складка в гнейсах.
Предгорье Аппалачей [Э.У. Спенсер]

Супраструктура. Основные элементы



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

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

Очень часто образование складок в метаморфитах сопровождается возникновением кливажа и будинажа. Полосчатость метаморфических пород бывает смята в систему мелких складок, которая называется **плойчатостью**





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, Казахстан



Супраструктура. Складки течения

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



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

Будины серых мраморов



Белые мраморы

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

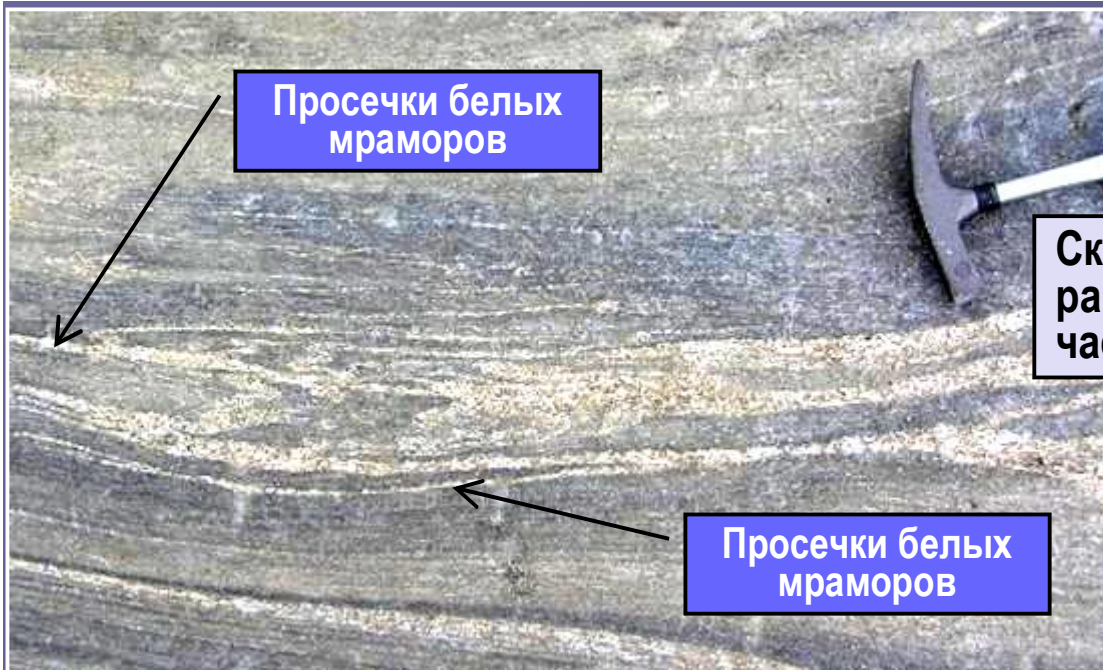
Тонкие "струи" белых мраморов

Серые, углеродистые мраморы

Будины мелкокристаллических мраморов среди крупнокристаллических



Складки течения в полосчатых мраморах. Ю. Урал.



Просечки белых мраморов

Просечки белых мраморов

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 в полосчатых мраморах в экзоконтактовых частях батолита. Северо-Муйская структура (Фото А.Б. Кирмасова)



Супраструктура. Птигматитовые складки



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

Один из характерных элементов супраструктуры – **изоклиальные птигматитовые складки**, в которые сминаются разнообразные гидротермальные жилы в условиях пластического течения



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

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]

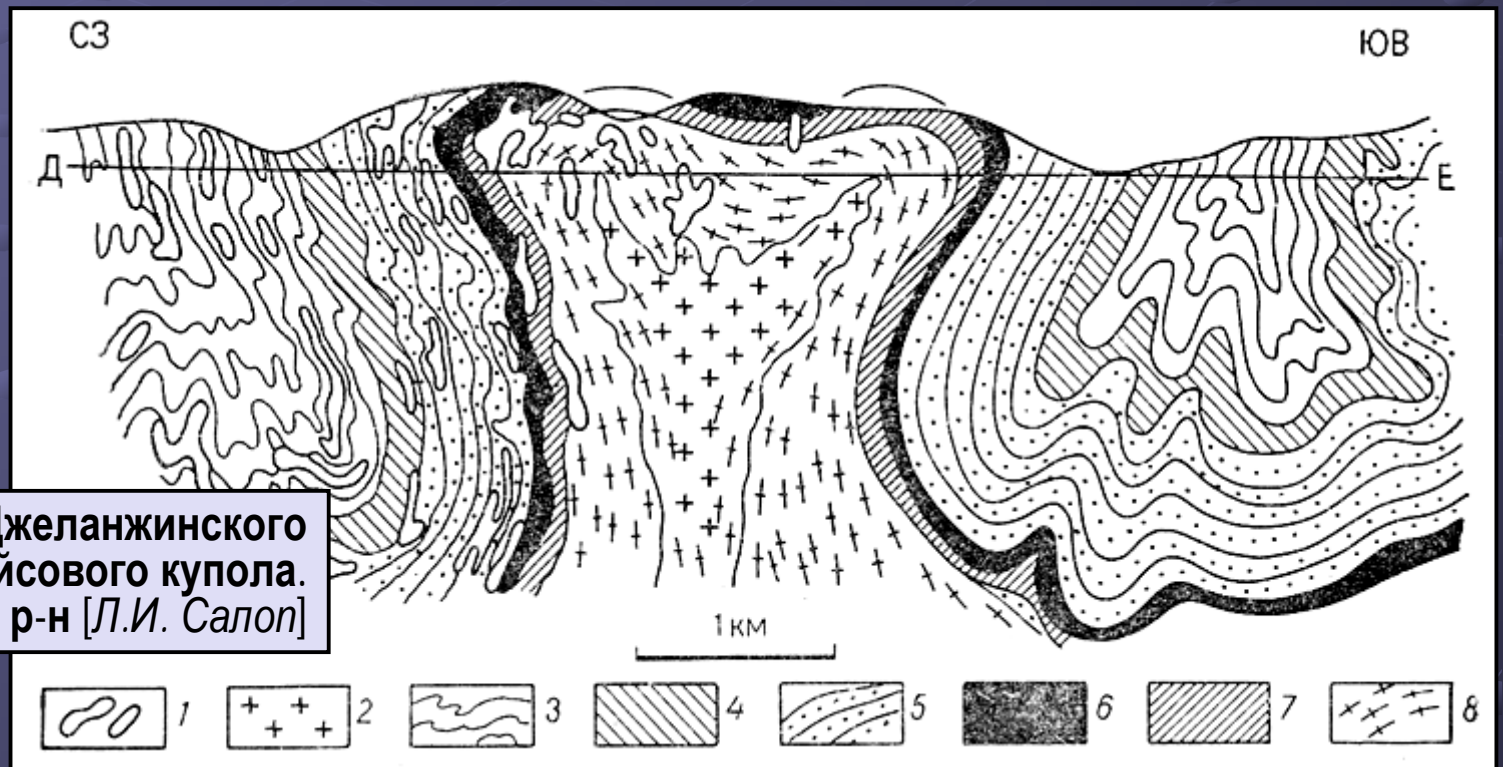


Схема строения Джеланжинского гранито-гнейсового купола. Мамский р-н [Л.И. Салоп]

Гранито-гнейсовые купола образуются вследствие всплывания гранитного материала при региональном метаморфизме и гранитизации или повторном разогреве древнего гранито-гнейсового основания. Они встречаются преимущественно на щитах древних платформ [В.Е. Хаин].

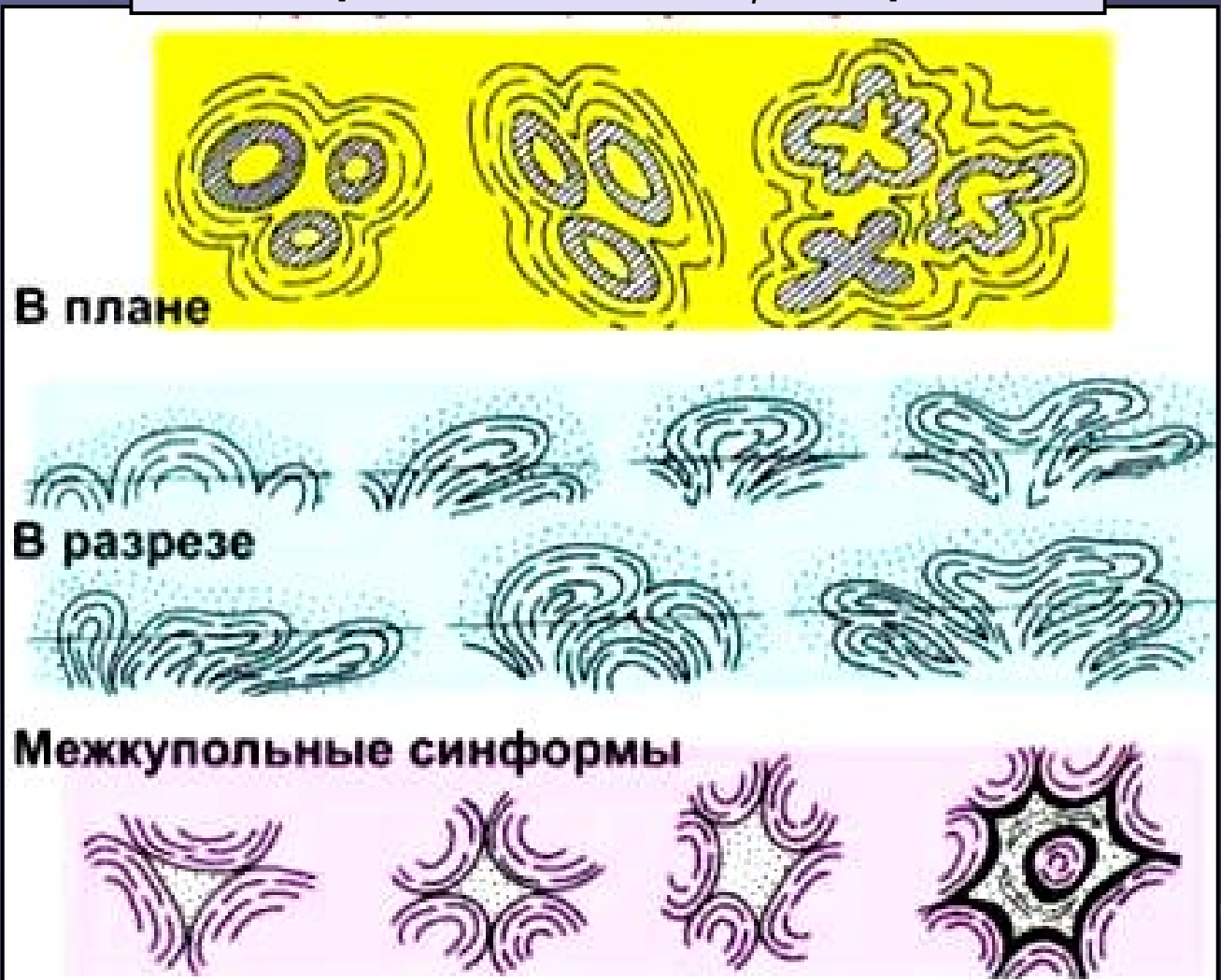


Схема строения гранито-гнейсового купола [А.И. Мельников, 1983]

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

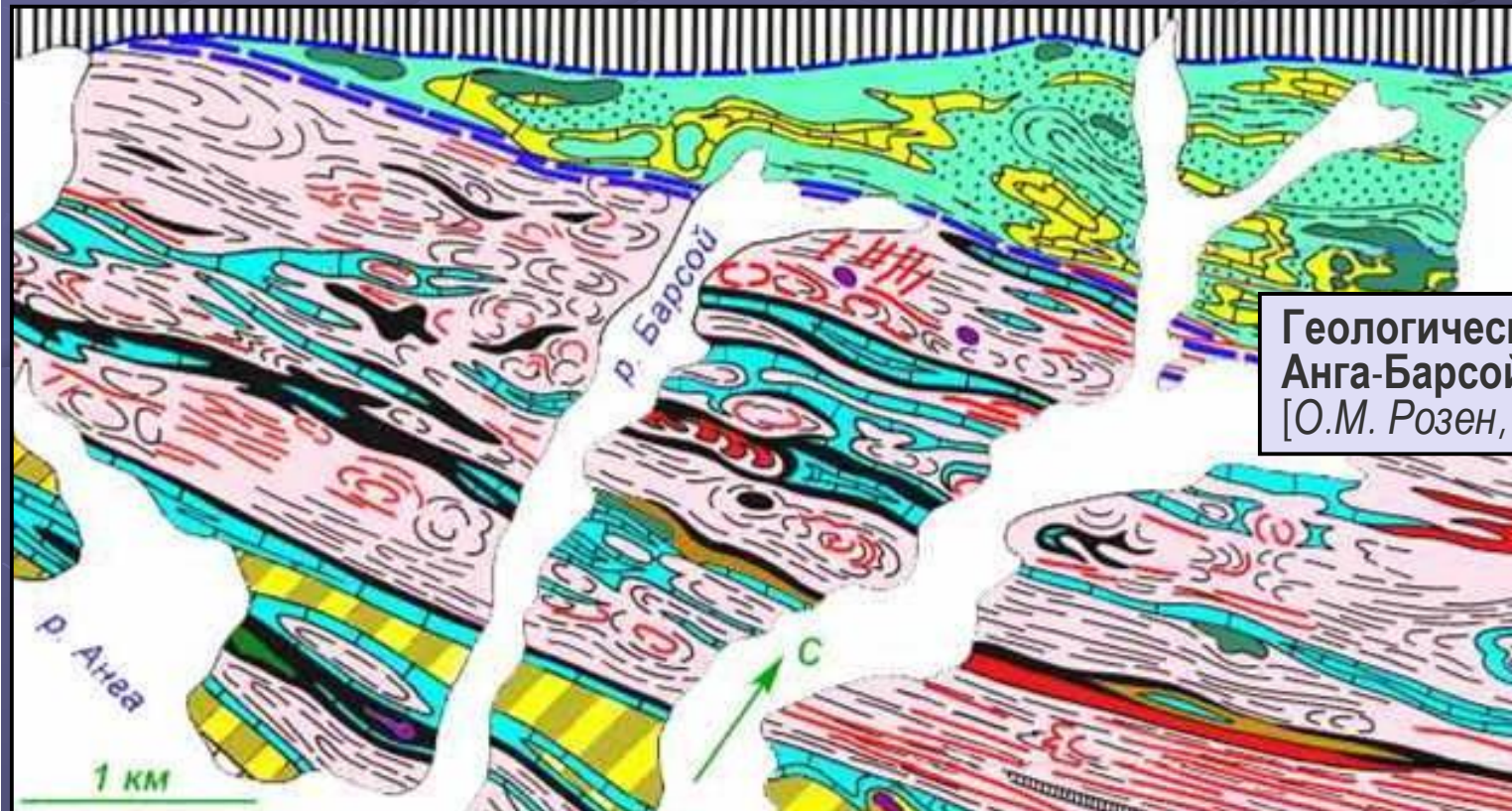
Структурные рисунки гранито-гнейсовых куполов
[О.М. Розен и В.С. Федоровский]

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.

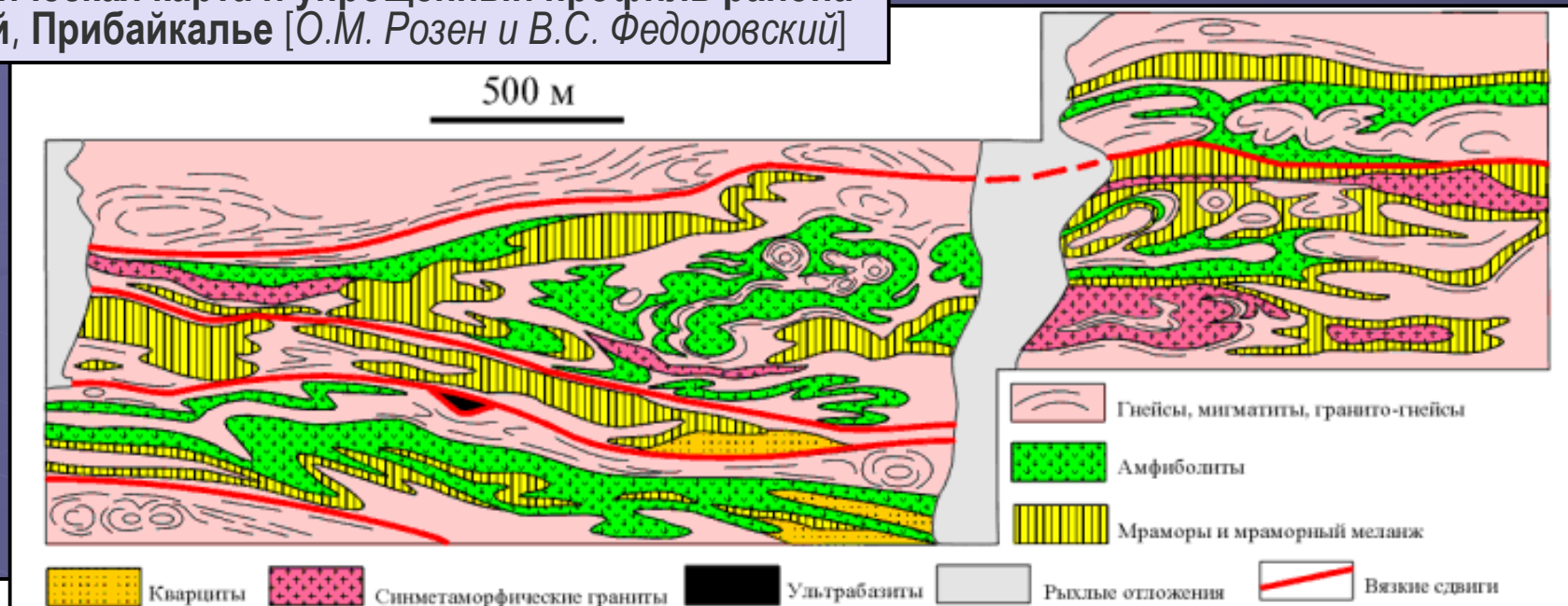
С другой стороны, одновременное проявление последних эпизодов покровных деформаций и начальных этапов куполообразования завершается формированием и других интерференционных композиций, а также **линеаризацией растущих куполов**, т.е. раздавливанием первоначально изометричных куполов и формированием гранито-гнейсовых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



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

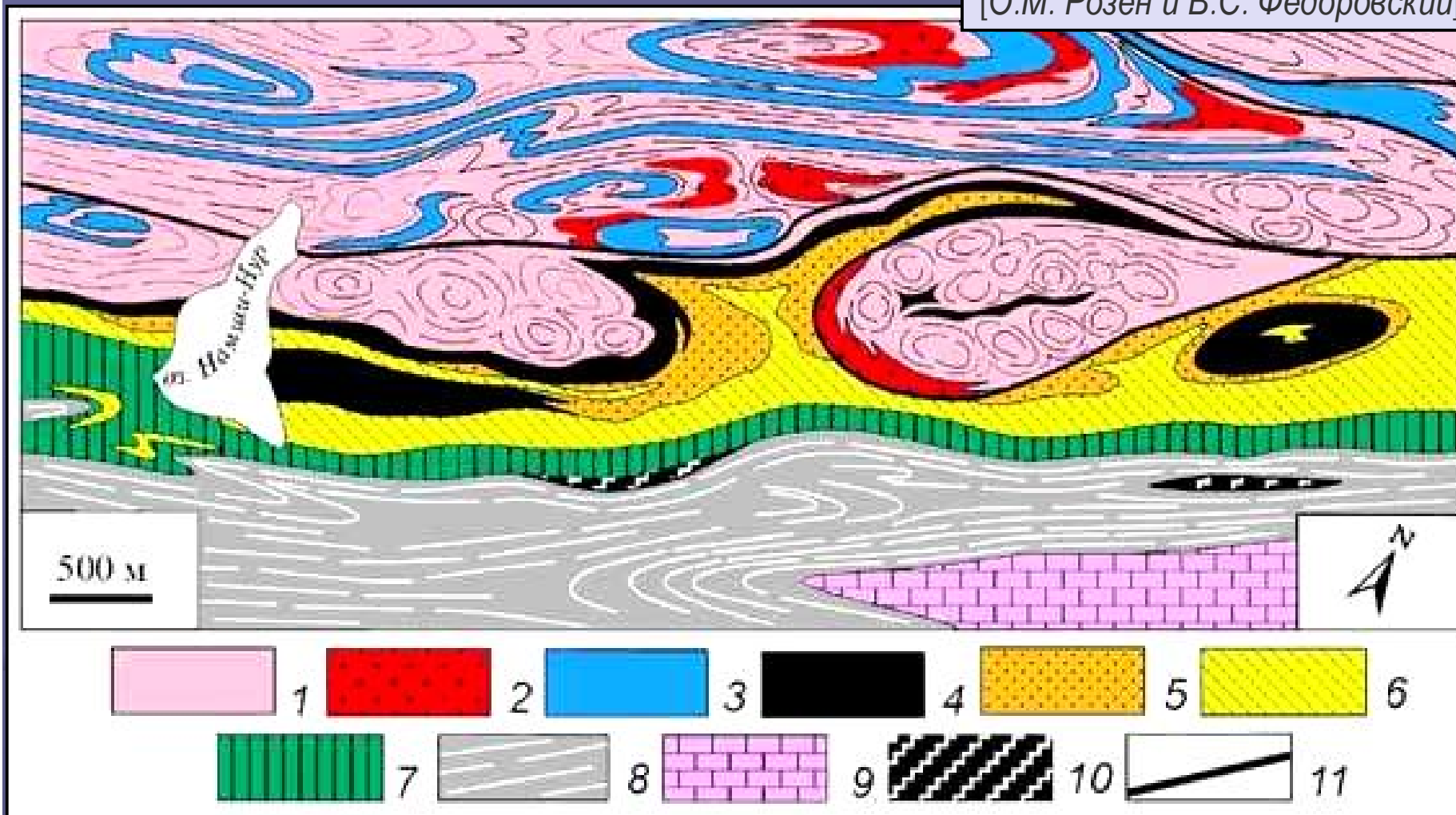
Гранито-гнейсовые купола. Примеры

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

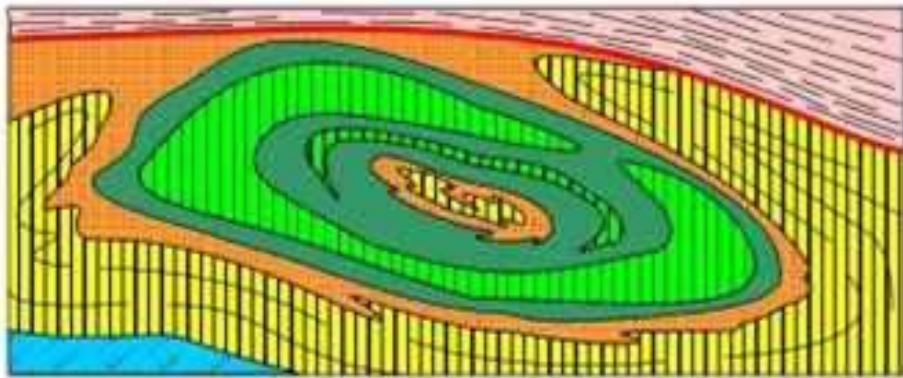


Линейные полосы гранито-гнейсовых куполов разделены сдвиговыми зонами, представленными бластомилонитами. Купола раздавлены, их структура не соответствует структуре обрамления

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 – метасадочные породы супраструктуры; 10 – серпентиниты



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

Аэрофото. Купол Овал



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, относящийся 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*).



Метагабброиды с инъекциями
плагиогранитов [С.М. Сеница]



Метамонциты с инъекциями пегматоидных гранитов (Ю. Урал)

Инъекции вытянуты конформно общему разгнейсованию пород и распределены неравномерно

Инъекции образуют мелкие птигматитовые складки, разветвляются и выклиниваются

Метамонциты с инъекциями пегматоидных гранитов (Ю. Урал)





**Мигматиты слюдяногорской
свиты. Южный Урал
(Фото С.А. Белякова)**

**Инъекции слагают линзы
и смяты в складки
вместе с гнейсами**

**Инъекции иногда образуют
полосчатую текстуру с
кристаллическими
сланцами и гнейсами**



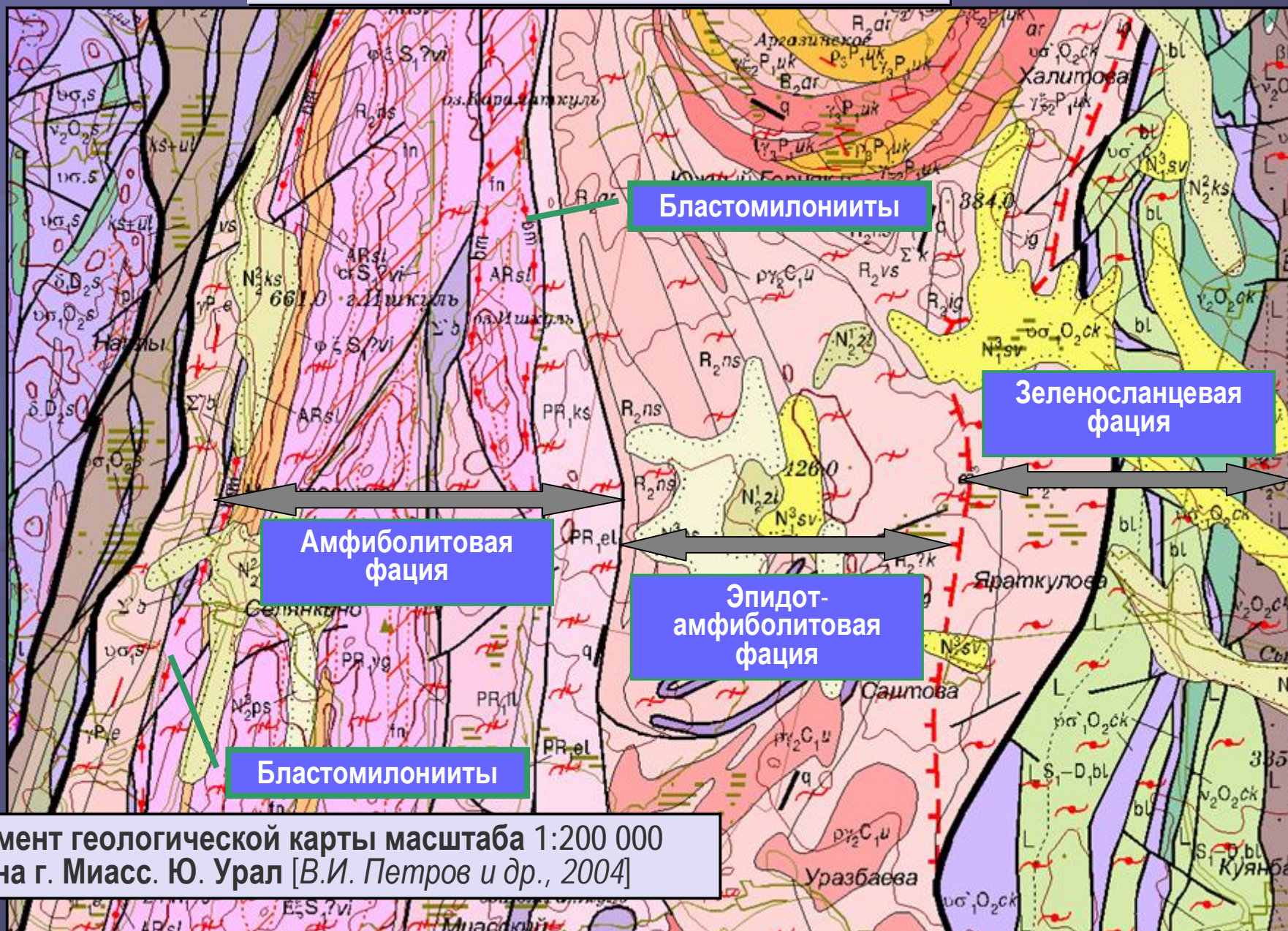
**Плагиомигматиты
селянкинской свиты. Южный
Урал (Фото С.А. Белякова)**

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

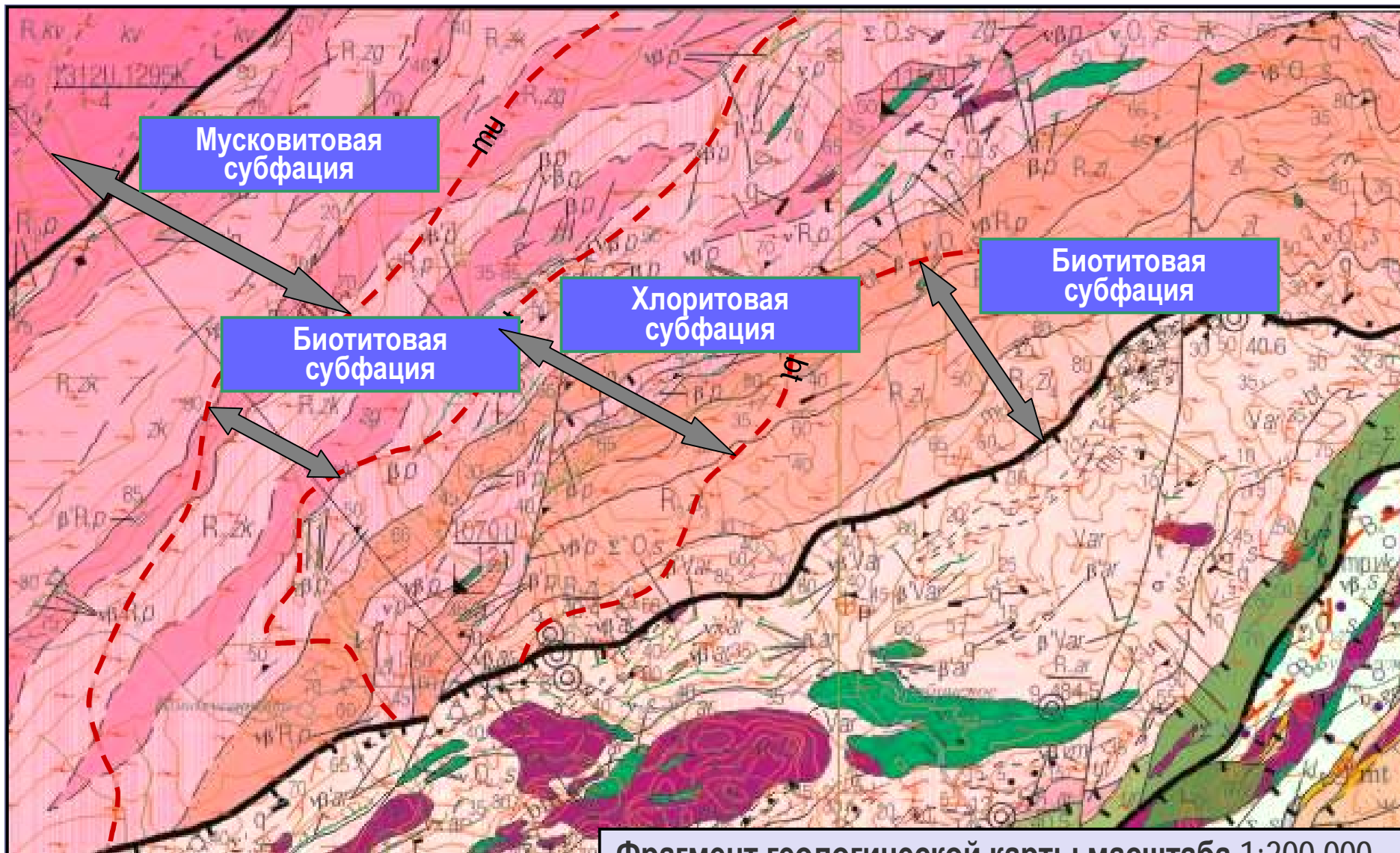


**Будины относятся к блочному типу, они разделены отрывами.
Мигматиты заполняют межбудинное пространство**

Метаморфические комплексы на геологических картах



Фрагмент геологической карты масштаба 1:200 000
района г. Миасс. Ю. Урал [В.И. Петров и др., 2004]



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