

# **15. ФОРМЫ ЗАЛЕГАНИЯ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ, МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД, МИГМАТИТОВ И ИМПАКТИТОВ**

**Г.В. Лебедев**  
**Пермский университет**

# Систематика

- Согласно действующему Петрографическому кодексу России (2009) все ранее объединявшиеся под единым названием «**метаморфические породы**» подразделяются на **четыре типа**:

1. **Метаморфические;**
2. **Метасоматические;**
3. **Мигматитовые;**
4. **Импактные.**

- **Метаморфизм** – процесс **минеральных и структурно-текстурных преобразований** горной породы любого происхождения, протекающий **вследствие изменения термодинамических условий** среды вне зоны эпигенеза.
- **Метасоматоз** – процесс преобразования горной породы **под воздействием флюидов в термоградиентном поле** эндогенного источника.
- **Мигматиты** – продукты прогрессивно направленного метаморфизма и метасоматоза, завершающихся **частичным или полным плавлением исходной породы.**
- **Импактные** (коптогенные) горные породы являются **продуктами** преобразования пород других типов, вызванного высокоскоростными **соударениями малых космических тел с Землей.**

# 15.1. Структурные формы метаморфических горных пород

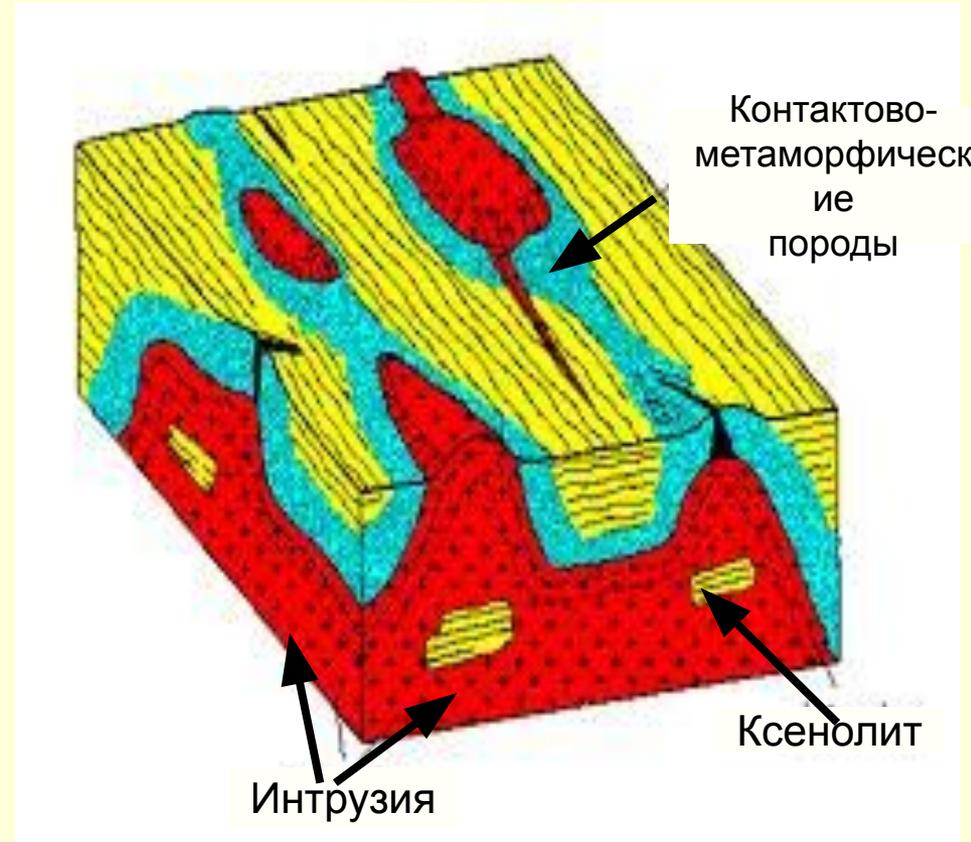
## Классы метаморфических горных пород

По условиям образования метаморфические горные породы подразделяются на **три класса**:

1. Термально-, или **контактово-метаморфические**, породы;
2. Динамо-термально-, или **регионально-метаморфические**, породы;
3. Динамо-, или **дислокационно-метаморфические**, породы.

# 15.1.1. Структурные формы контактово-метаморфических горных пород

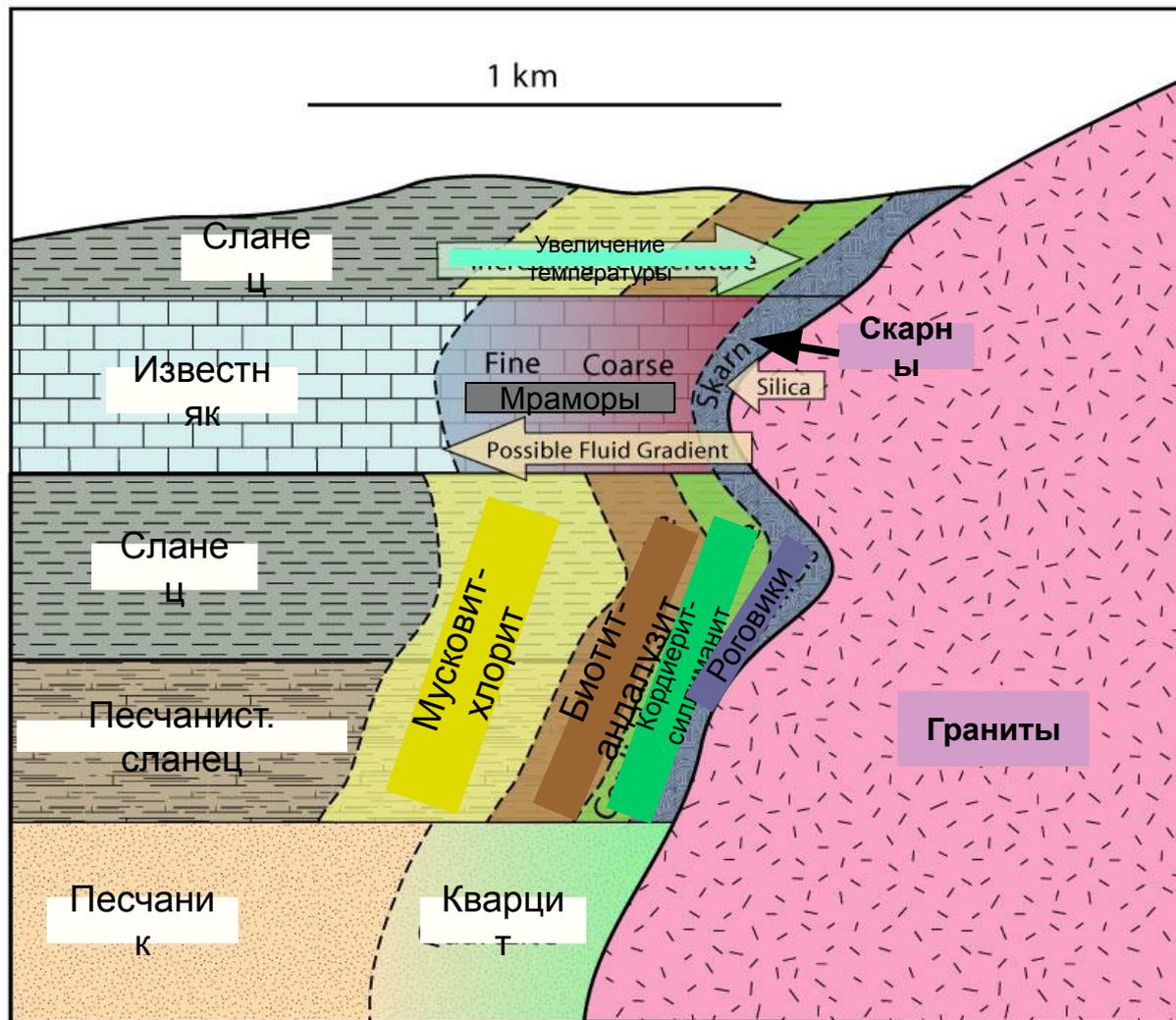
- Горные породы данного класса образуются в ареале термального воздействия магматических тел на вмещающие породы. Интенсивность и масштабы проявления метаморфизма зависят от размера магматического тела, его состава, или, в общем случае, от запасов тепла и флюида.
- В зависимости от температуры образования выделяются **четыре фации**:
- **низкотемпературная** (*альбит-эпидот-роговиковая* или *мусковит-роговиковая*);
- **среднетемпературная** (*амфибол-роговиковая*);
- **высокотемпературная** (*пироксен-роговиковая*);
- **пирометаморфическая** (*санидинитовая*).



<http://t3.gstatic.com>

# Схема строения экзоконтактового ореола гранитного массива

<http://lifeinplanetlight.files.wordpress.com>



При изучении данного вопроса следует вновь обратиться к ранее рассмотренному вопросу «Контакты и контактовые ореолы интрузивных тел»

# Контакт кристаллических сланцев (буровато-коричневое) и гранитов (розовое)

<http://farm4.staticflickr.com>



# Активный контакт дайки с терригенными породами

<http://www.stephen-weaver.com>



# 15.1.2. Структурные формы регионально-метаморфических горных пород

- Горные породы данного класса образуются в результате **одновременного воздействия повышенной температуры**, вызванной эндогенным тепловым потоком и **направленного давления**. Эти породы имеют региональное распространение и **не связаны с какими-либо конкретными магматическими проявлениями**.
- По степени интенсивности метаморфических изменений выделяются **четыре фации**:
  1. **Зеленосланцевая** (*сланцы эпидот-альбит-хлоритовые, серицит-актинолит тальковые, гранат-актинолит-хлоритовые и др.*);
  2. **Эпидот-амфиболитовая** (*сланцы ставролит-гранат-хлоритовые, гнейсы гранат-андалузит-двуслюдяные*);
  3. **Амфиболитовая** (*амфиболиты диопсид-роговообманковые, гранат-роговообманковые, биотит-роговообманковые; кристаллосланцы биотит-двупироксен-плагиоклазовые; гнейсы двуслюдяные, кианит-гранатовые, биотитовые, гранат-роговообманково-биотитовые, кварцито-гнейсы и др.*);
  4. **Гранулитовая** (*кристаллосланцы двупироксен-плагиоклазовые*).

Среди пород рассматриваемого класса особо выделяются семейства двух фаций **аномально высокого давления**:

- **глаукофансланцевая** (*сланцы эпидот-альбит-глаукофановые и др.*);
- **эклогитовая** (*эклогиты гранат-диопсид-жадеитовые и др.*).

Горные породы динамо-термально-, или регионально-метаморфического, класса по текстурно-структурным признакам подразделяются на три рода:

- сланцы – породы с тонкой делимостью (мм до см) и лепидобластовой либо нематобластовой структурой;
- гнейсы – породы с грубой делимостью (от см до дм) и гранобластовой структурой;
- кристаллосланцы или гранофельзиты – массивные или грубополосчатые породы с гранулитовой или мозаичной структурой.

# Особенности регионально-метаморфических пород

Метаморфические породы являются крайне сложными объектами для изучения. Это обусловлено следующими причинами.

1. В них **затушеваны или полностью уничтожены признаки исходных пород (протолитов)**. Изменяется минеральный состав, структура, текстура. У осадочных пород исчезает слоистость. У слоистых и массивных (интрузивных) пород появляются новые текстурные признаки: полосчатость и сланцеватость. Это затрудняет выявление состава исходной породы и условий ее залегания.
2. Метаморфические толщи **имеют большую мощность** (сотни метров – километры). Это, по-видимому, обусловлено накоплением мощных толщ в докембрии (именно эти породы образуют большую часть метаморфических пород), многократной деформацией горных пород, затушевкой процессами метаморфизма признаков первичных пород.
3. Метаморфические породы **отличаются проявлением в них многофазных пликативных и дизъюнктивных дислокаций**.
4. В процессе метаморфизма породы приобретают **особые элементы строения, характерные только для метаморфических пород: сланцеватость, гнейсовидность, будинаж, складки волочения и др.**

# Сланцеватость

- **Сланцеватость** - способность горных пород при ударе относительно легко раскалываться параллельно определённой плоскости.
- Эта механическая анизотропия горных пород обусловлена динамотермальным метаморфизмом, при котором пластинчатые и столбчатые зёрна минералов (например, слюды, роговая обманка, хлориты и др.), слагающих породу, приобретают вследствие перекристаллизации или поворота одинаковую ориентировку. Она часто возникает при складкообразовании.
- **Сланцеватость** может



## Сланцы в обнажении

<http://www.southevia.gr/images/stories>

# Гнейсовидность (полосчатость)

- Полосчатость в метаморфических породах обусловлена чередованием полос с различным минеральным составом.
- Гнейсовидность, характерная для гнейсов, может как унаследовать первичную слоистость, так и иметь свою ориентировку.

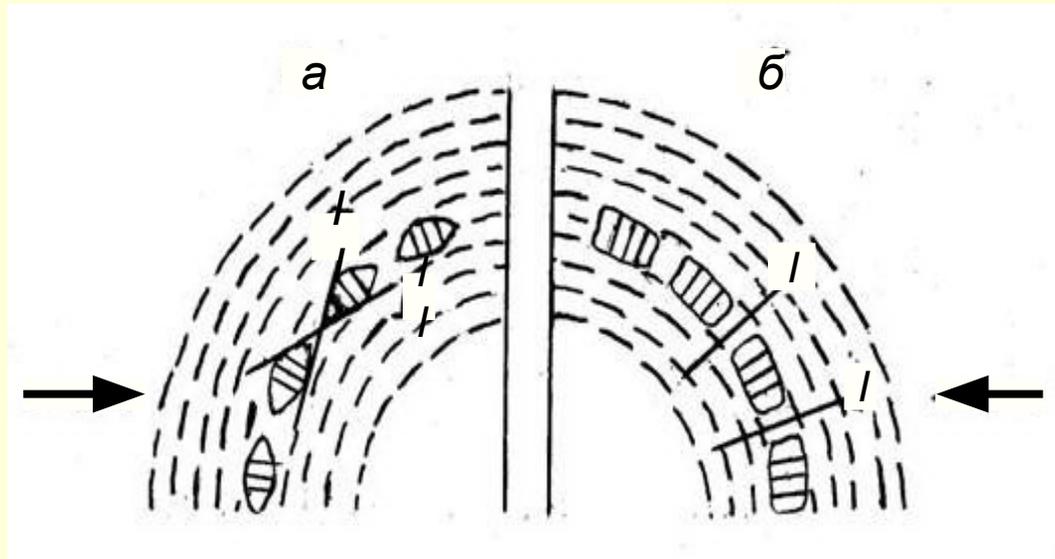


**Гнейсы в обнажении**

<http://higenter.ru>

# Будинаж-структуры

- **Будинаж** [фр. boudin - валик, колбаска] - разлинзование слоев горных пород с низкой пластичностью (также даек и жил), заключенных между слоями пластичного материала, на будины - линзы и блоки, отделенные друг от друга или соединенные тонкими пережимами - шейками.
- **Будинаж является результатом растяжения жестких слоев под действием сил трения, возникающих при раздавливании и течения под давлением пластичных слоев, облекающих жесткие.**
- Пространство между будинами заполняется облекающим пластичным материалом.
- **Будинаж эмбриональный характеризуется неполным разрывом жестких пластов:** будины соединены шейками или разделены небольшими трещинами, но не изолированы друг от друга.
- **Будинаж блоковый - будины представлены отдельными блоками.**



## Механизм образования будинаж-структур

а – образование будин с острыми окончаниями,  
б – с тупыми окончаниями; / – трещины отрыва,  
// – трещины скалывания

# Эмбриональный будинаж каменноугольных песчаников, заключенных в сланцы

Побережье Альмограф, Португалия

<http://2.bp.blogspot.com>

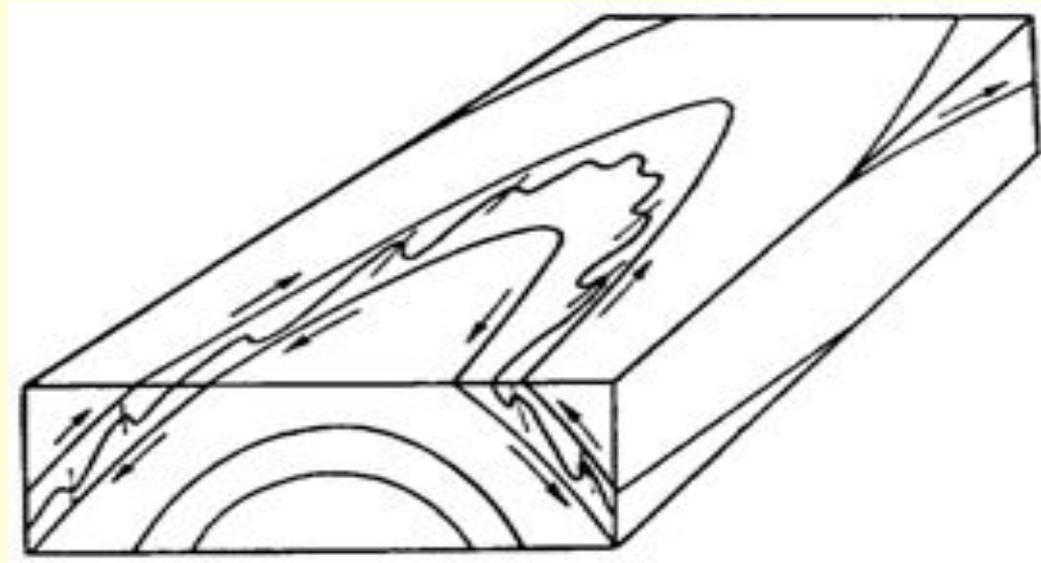


**Блоковый (вверху) и эмбриональный (внизу) будинаж  
каменноугольных песчаников, заключенных в сланцы**  
Побережье Альмограф, Португалия <http://2.bp.blogspot.com>



# Складки волочения

- **Складки волочения** - мелкие складки внутри отдельных пачек слоев. Образуются в пластичных слоях, заключенных между более жесткими породами, в результате межслоевого скольжения. Скольжение приводит к волочению материала более пластичной породы за перемещающимся слоем жесткой породы.



**Схематическое изображение складок волочения на блок-диаграмме**

<http://readrun.com/information/geology1>

Стрелками показано движение непластичных слоёв

**Складки  
волочения в  
обнажениях**

[http://www.uwgb.edu/dutchs/  
GEOPHOTO/STRUCTUR](http://www.uwgb.edu/dutchs/GEOPHOTO/STRUCTUR)



# Особенности складчатых и разрывных деформаций в регионально-метаморфических толщах

- Для метаморфических пород особенно высоких фаций метаморфизма характерны многофазные складчатые деформации.
- В них редко выделяются крупные линейные складки. В обнажениях обычно отмечаются мелкие складки с амплитудами от десятков сантиметров до десятков метров.
- Крупные складки обычно являются изометричными (купольными) или брахиформными.
- Широко развиты *подобные* складки, что обусловлено увеличением пластичности горных пород под воздействием повышенных температур и давлений.
- По соотношению крыльев складки могут быть нормальными и изоклиналильными; по положению осевых поверхностей – прямые, наклонные, опрокинутые, лежащие. Вследствие неоднократных деформаций возникают перевернутые (ныряющие) складки.
- При неоднократных деформациях расшифровка возрастных взаимоотношений между отдельными толщами становится затрудненной. По этой причине определение типа складки (синклиналь или антиклиналь) теряет смысл. Они делятся на синформы и антиформы.
- Широким развитием среди регионально-метаморфических пород пользуются **динамо-, или дислокационно-метаморфические, породы**, выделяемые в самостоятельный класс (см. ниже).

# Примеры регионально-метаморфических, складок



# Гранито-гнейсовые купола

**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]

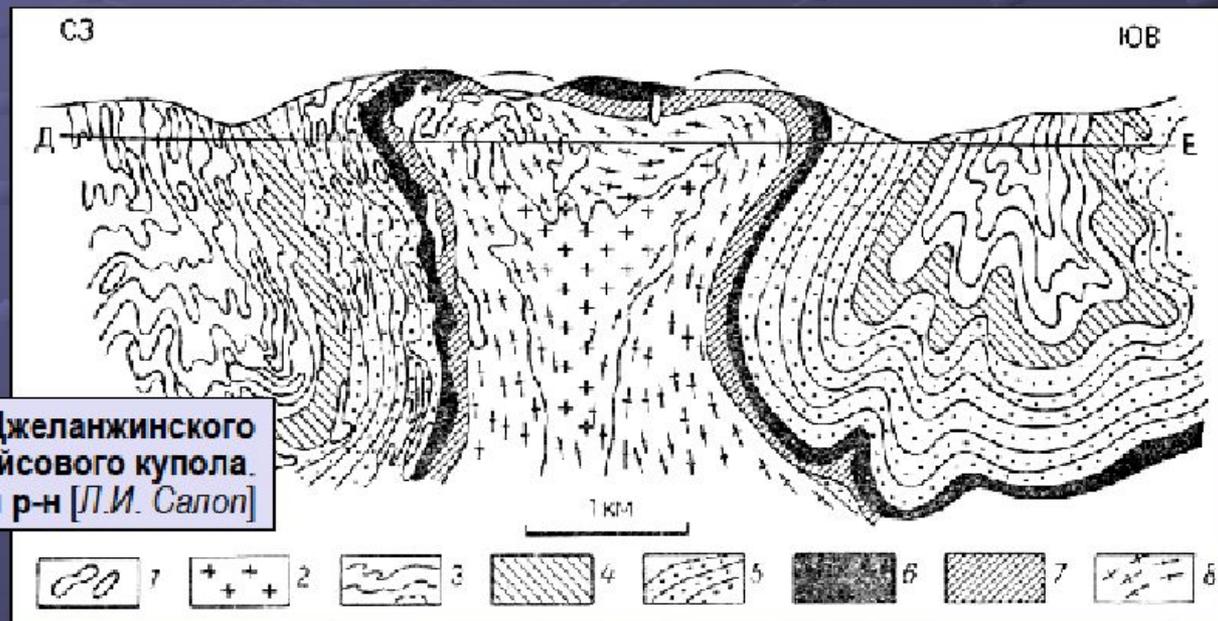


Схема строения Джеланжинского гранито-гнейсового купола. Мамский р-н [Л.И. Салоп]

**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].



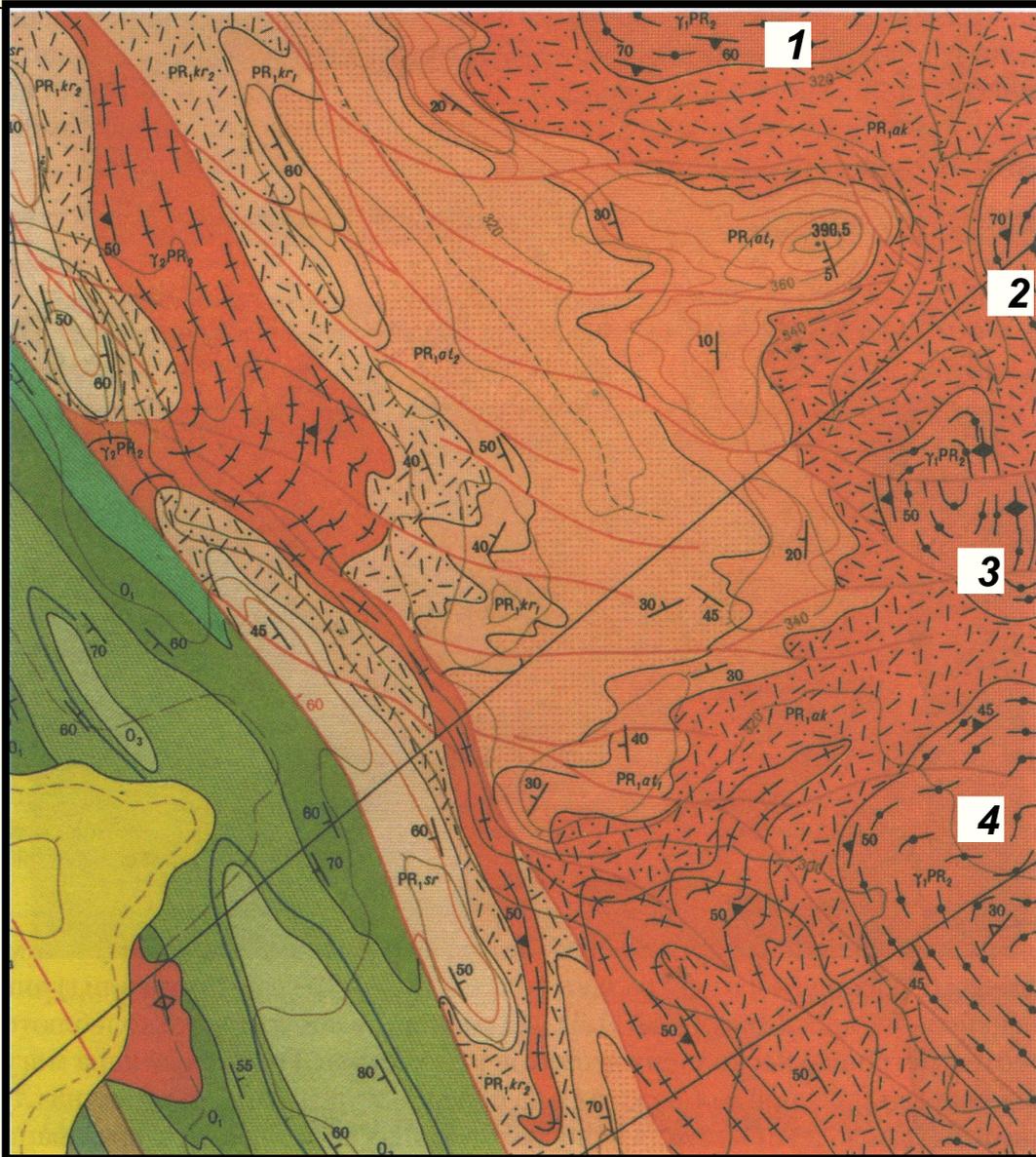
Схема строения гранито-гнейсового купола [А.И. Мельников, 1983]

# Гранито-гнейсовые купола на геологической карте

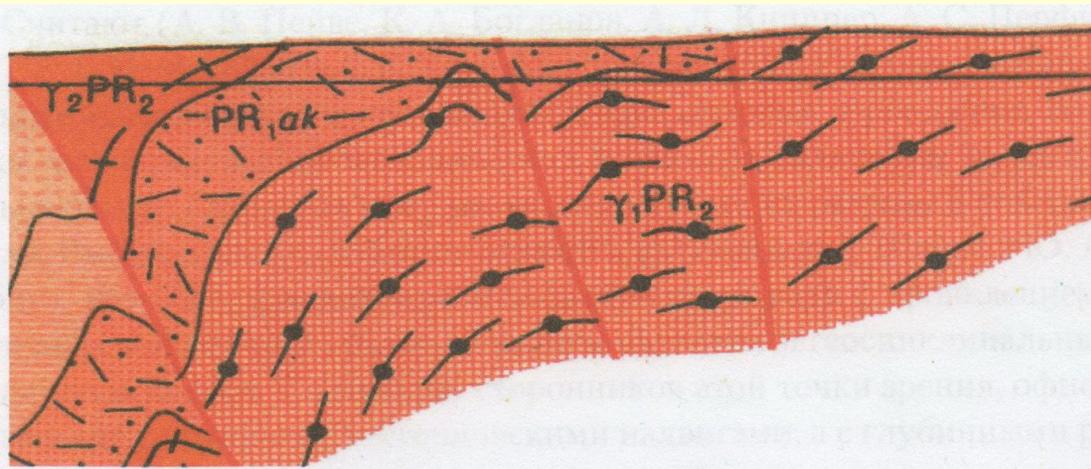
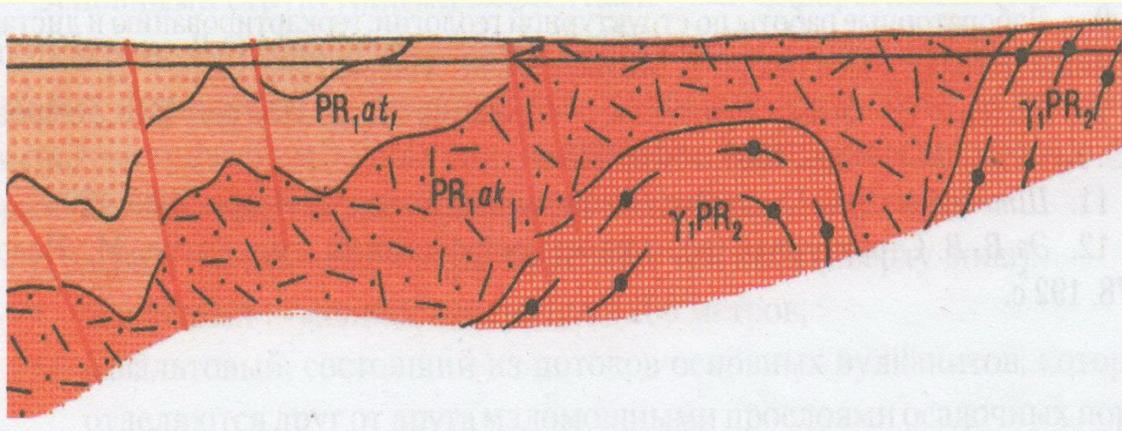
## Фрагмент учебной геологической карты № 16

Метаморфические породы образуют четыре гранито-гнейсовых купола (1, 2, 3, 4). Ядра куполов сложены порфировидными и очковыми гнейсами ( $\gamma_1 PR_2$ ), обрамления – метаморфизованными эффузивами кислого состава ( $PR_1 ak$ ) и эффузивно-осадочными породами зеленосланцевой фации ( $PR_1 at$ ).

*Геологические разрезы см. на следующем слайде*



## Разрезы к учебной геологической карте №16



На разрезах изображены гранито-гнейсовые купола, центральные части которых сложены порфировидными и очковыми гранито-гнейсами ( $\gamma_1 PR_2$ ), которые приподняли метаморфизованные отложения аксуйской ( $PR_{1ak}$ ) и айтекской ( $PR_{1at}$ ) свит.

## 15.1.3. Структурные формы динамо-, или дислокационно-метаморфических, горных пород

- Рассматриваемый класс объединяет породы, образовавшиеся в результате дифференциальных движений горных масс в анизотропном поле напряжений при отсутствии избыточного эндогенного теплового потока.
- Эти **породы развиты в зонах смятия и других тектонических нарушений**, масштабы их распространения соизмеримы с размерами этих зон, а интенсивность метаморфических преобразований пропорциональна интенсивности тектонических напряжений.
- В данный класс **включены породы, ранее относившиеся к тектонитам или к тектоно-метаморфическим горным породам.**
- Среди дислокационно-метаморфических пород выделяются следующие разновидности:
  - **1) какириты;**
  - **2) тектонические брекчии;**
  - **3) катаклазиты;**
  - **4) милониты;**
  - **5) филлониты;**
  - **6) бластомилониты**

## Какирит

- **Какирит** - рыхлая сильно катаклазированная брекчиевидная порода, в которой обломки первоначальной породы еще не смещены. Какирит характеризуется беспорядочным расположением многочисленных мелких трещин, создающих хаотически беспорядочную структуру. Какирит является переходным образованием от ненарушенной породы к тектонической брекчии.

# Тектоническая брекчия

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/ru>

- **Тектоническая брекчия** — горная порода горная порода, состоящая из остроугольных, неокатанных обломков пород и соединяющего их цемента горная порода, состоящая из остроугольных, неокатанных обломков пород и соединяющего их цемента. Образуется в результате дробления и механического истирания горных пород в зонах разломов горная порода, состоящая из остроугольных, неокатанных обломков пород и соединяющего их цемента. Образуется в результате дробления и механического истирания горных пород в зонах разломов. Тектоническая брекчия образуется в зонах разломов в условиях, где обломки пород замещаются цементом. Образуется в результате дробления и механического истирания горных пород в зонах разломов приповерхности. Образуется в результате дробления и механического истирания горных пород в зонах разломов и бластогенеза и бластогенеза.



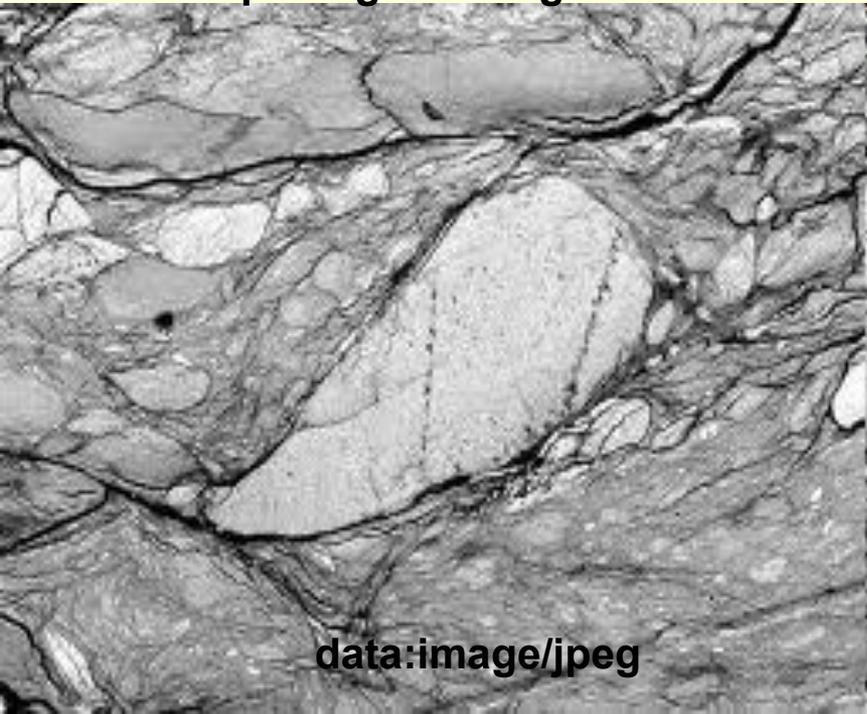
## Катаклазиты

- **КАТАКЛАЗИТ** — продукт *дислокационного метаморфизма*, характеризуется присутствием сильно деформированных, раздробленных зерен минералов, наличием мелкогранулированного цемента. От *какиритов* отличается большей прочностью и отсутствием тонкой трещиноватости, от *милонитов* — меньшей степенью дробления зерен и отсутствием линзовидно-полосчатой, сланцеватой текстуры.



Катаклазированный  
базальт

<http://img641.imageshack.us>



data:image/jpeg



Катаклазированный мрамор

<http://de.academic.ru>

# Милониты



**Милонитизированный гнейс из  
разлома Сан-Андреас**

**Photo by J.C. Matti, USGS, June, 1980**

• **Милонит** - тонкоперетертая порода, образовавшаяся при движении горных масс в зонах тектонических разрывов. Под микроскопом различаются мелкие обломки кварца, полевых шпатов, чешуйки слюды среди тонкораспыленной массы более мягких минералов исходной породы, иногда новообразования серицита, цоизита и др. В отличие от *катаклаза*, милонитизация представляет собой конечную стадию дробления горной породы до частиц микроскопического размера.

## Филлонит

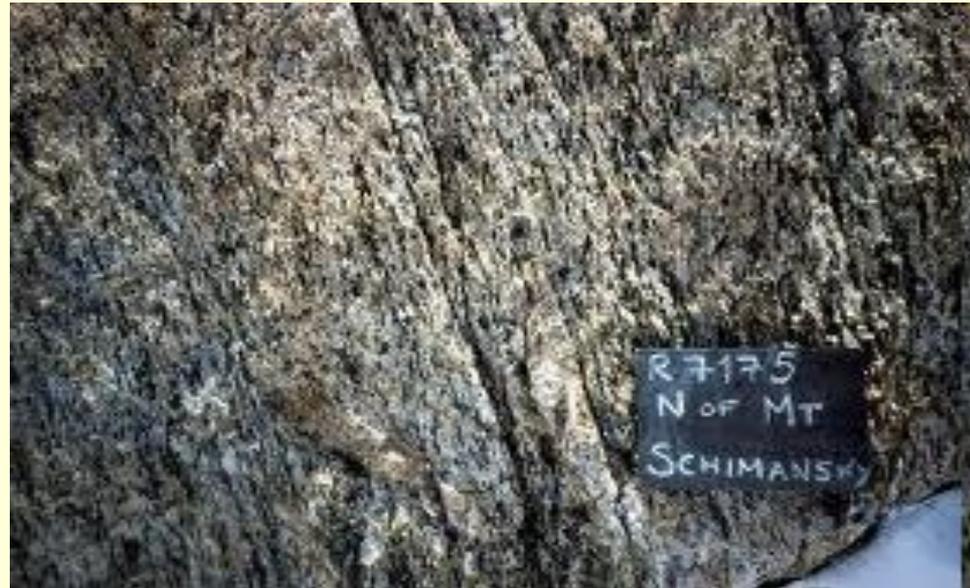
- **Филлонит** (глинка трения) – горная порода по внешнему виду похожая на филлит (глинистый сланец), но образовавшаяся в результате милонитизации и последующей перекристаллизации горных пород в зонах разломов.

# Бластомилониты

- **БЛАСТОМИЛОНИТ**— дислокационно-метаморфическая порода, в которой наблюдаются глубокая деформация и раздробление, с одной стороны, и **перекристаллизация и новообразования**, с другой.
- Зоны бластомилонитов ранее представляли зоны дробления и катаклаза. В процессе метаморфизма они подверглись перекристаллизации. Тонкий перетертый материал превратился в плотную породу, в которой выросли крупные кристаллы – порфиробласты.
- Бластомилониты **характерны для древних, преимущественно докембрийских**, комплексов горных пород.



<http://structuralgeology.50webs.com>



<http://t0.gstatic.com>

# 15.2. Структурные формы метасоматических горных пород

- **Метасоматоз** – вызывается воздействием на протолит флюида в термоградиентном поле эндогенного источника.
- **Факторы метасоматоза:** а) температура, б) флюидное давление, г) градиент химических потенциалов компонентов в системе порода – флюид, д) эволюция Eh и pH в колонне фильтрующего флюида.
- Метасоматоз ведет к частичному или полному **химическому, минеральному и структурно-текстурному преобразованию петролита, сохраняющего при этом твердое состояние.**
- По происхождению метасоматические породы подразделяются на **три класса:**
  - 1. Контактново-метасоматический;**
  - 2. Регионально-метасоматический;**
  - 3. Гипергенно-метасоматический.**

П р и м е ч а н и е. Обычно гипергенно-метасоматические преобразования рассматриваются как самостоятельный процесс – **гипергенез. В данной дисциплине не рассматривается.**

## 15.2.1. Структурные формы контактово-метасоматических пород

- В класс контактово-метасоматический объединяются породы, сформировавшиеся в зоне контактового воздействия теплового потока и флюидов магматического тела на вмещающие его породы. Типичными представителями пород данного класса являются **скарны**.
- К этому же классу относятся продукты автометасоматоза – воздействия магматогенного флюида на успевшие ранее закристаллизоваться магматические породы. Типичными представителями пород данного класса являются **альбититы и грейзены**.

# Скарны

- К скарнам относятся продукты слабощелочного метасоматоза, происходящего в интервале температур 450 – 1000 °С на глубинах от 1 до 30 км.
- С древних времен шведские горняки называли обособления силикатных минералов в железных и сульфидных рудах.
- В настоящее время под скарнами понимаются метасоматические породы, сложенные силикатами кальция, железа и магния и возникающие в результате химического взаимодействия карбонатных и алюмосиликатных пород при участии растворов.
- Выделяются две группы скарнов: магнезиальные и известковистые.
- Со скарнами связаны многочисленные месторождения Fe, Co, Mo, W, Cu, Au, U, а также флогопита, лазурита и др.

## Магнезиальные скарны

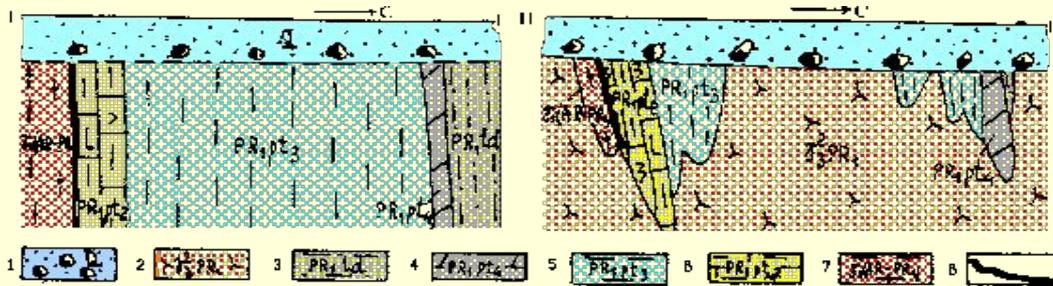
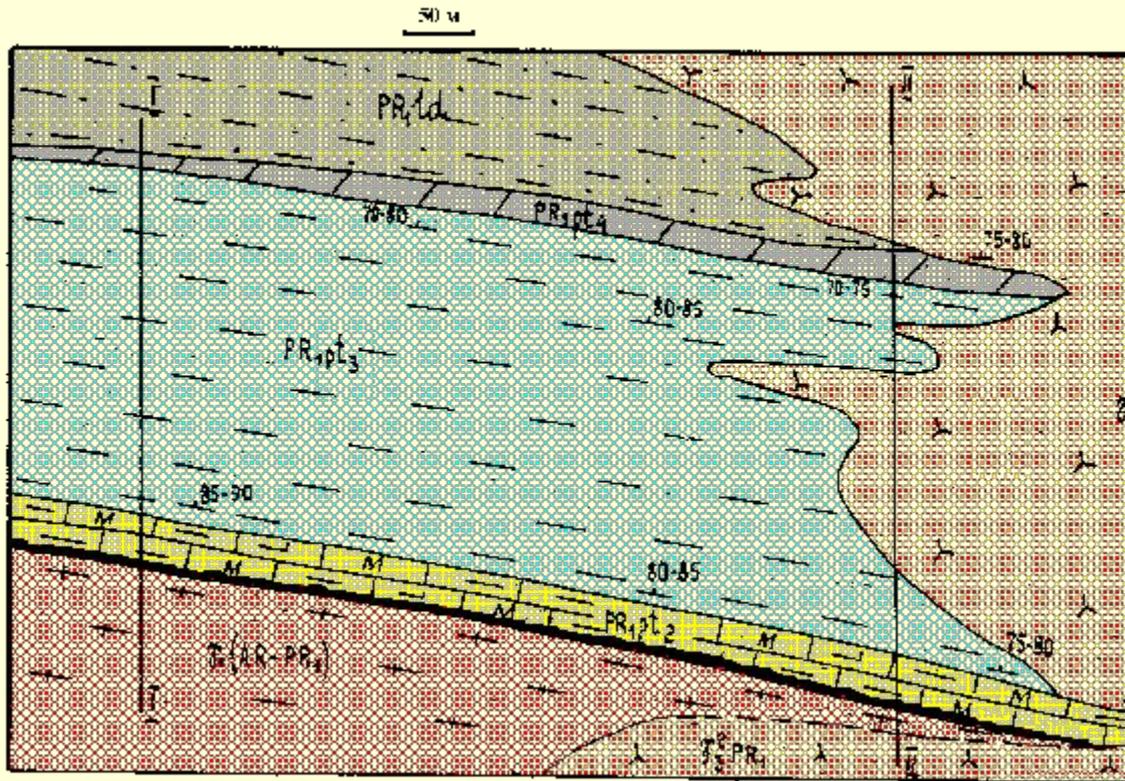
- Образуются по доломитам и магнезитам. Главные минералы: форстерит, шпинель, клинопироксены (диопсид или фассаид), кальцит и реже доломит.
- Встречаются в двух геологических обстановках: 1) в глубинных гранито-гнейсовых комплексах древних щитов; 2) вблизи контактов интрузивов гранитоидов, реже сиенитов или габброидов.
- Образуют пластообразные и линзовидные тела, мощностью до нескольких сотен метров и длиной до 1,0 – 1,5 км. Пластообразные тела приурочены к горизонтам доломитов и залегают согласно с вмещающими породами. В экзоконтактовых зонах интрузивов встречаются в виде крутопадающих столбов, трубообразных тел, жил и фронтальные залежи сложной формы.

## Известковые скарны

- Образуются по известнякам, мергелям, известковым туфам и туффитам, магнезиальным скарнам. Главные минералы: гранаты, клинопироксены, волластонит, реже скаполит, эпидот, везувиан.
- Приурочены к гранитоидам повышенной основности.
- Образуют пластообразные, линзовидные тела мощностью от десятков сантиметров до первых десятков метров.
- Встречаются также среди интрузивных и карбонатных пород без видимой связи с интрузивными контактами. В этих случаях образуют трубо-, жило- или столбообразные тела мощностью до 15 – 30 м, прослеживающиеся на глубину до 100 – 300 м.

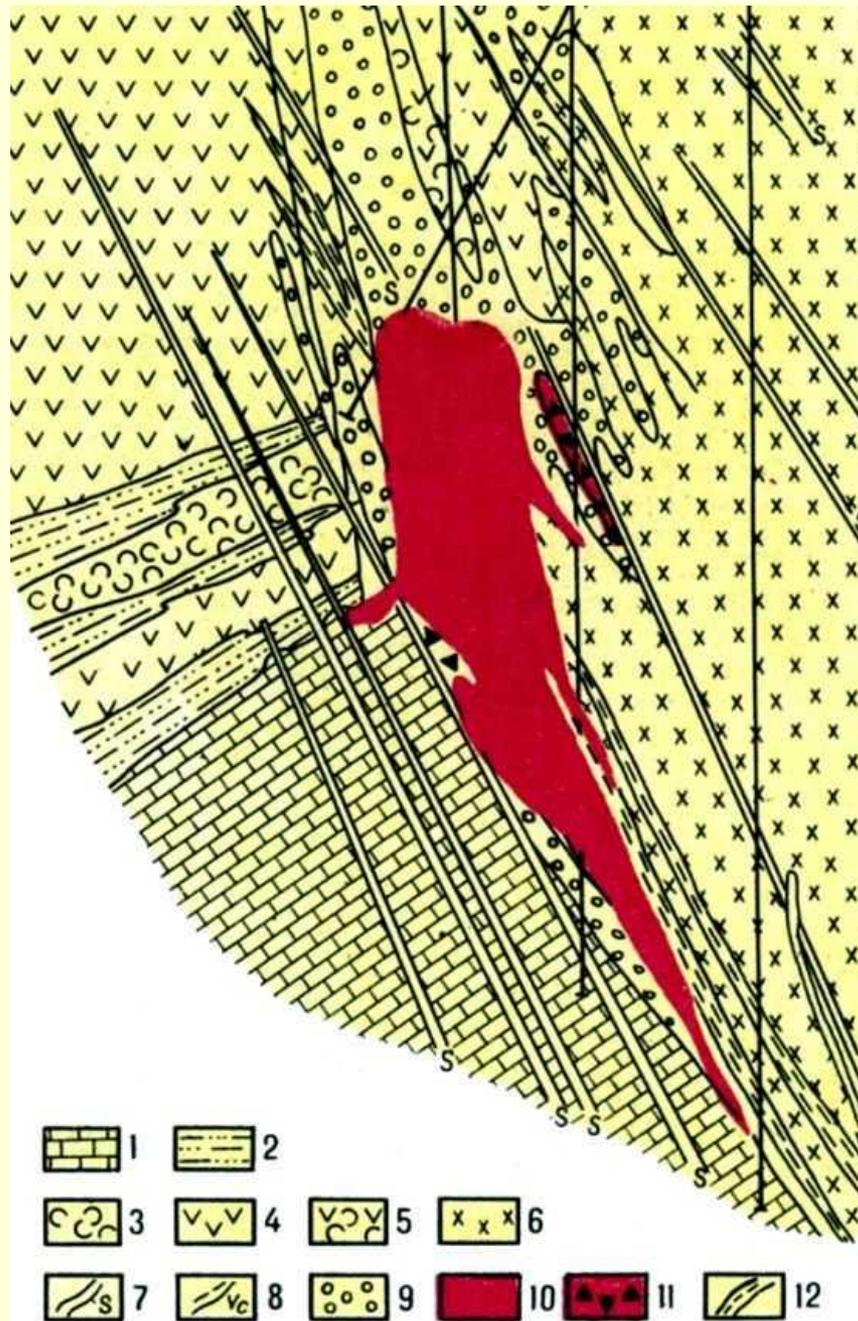
# Схема строения Кительского скарнового месторождения. Карелия

<http://5ka.su/download>



- 1-четвертичные отложения;
- 2-граниты рапакиви (2 фаза);
- 3-кварциты, полевошпат-биотитовые сланцы;
- 4-кальцифиры, мраморы;
- 5-полевошпат-амфиболовые, графитсодержащие кварц-биотитовые скарны;
- 6-пироксеновые, гранатовые, гранат-пироксеновые, магнетит-пироксеновые скарны;
- 7-гнейсо-граниты

## Разрез Песчанского месторождения. Сев.Урал (по А.И. Усенко):



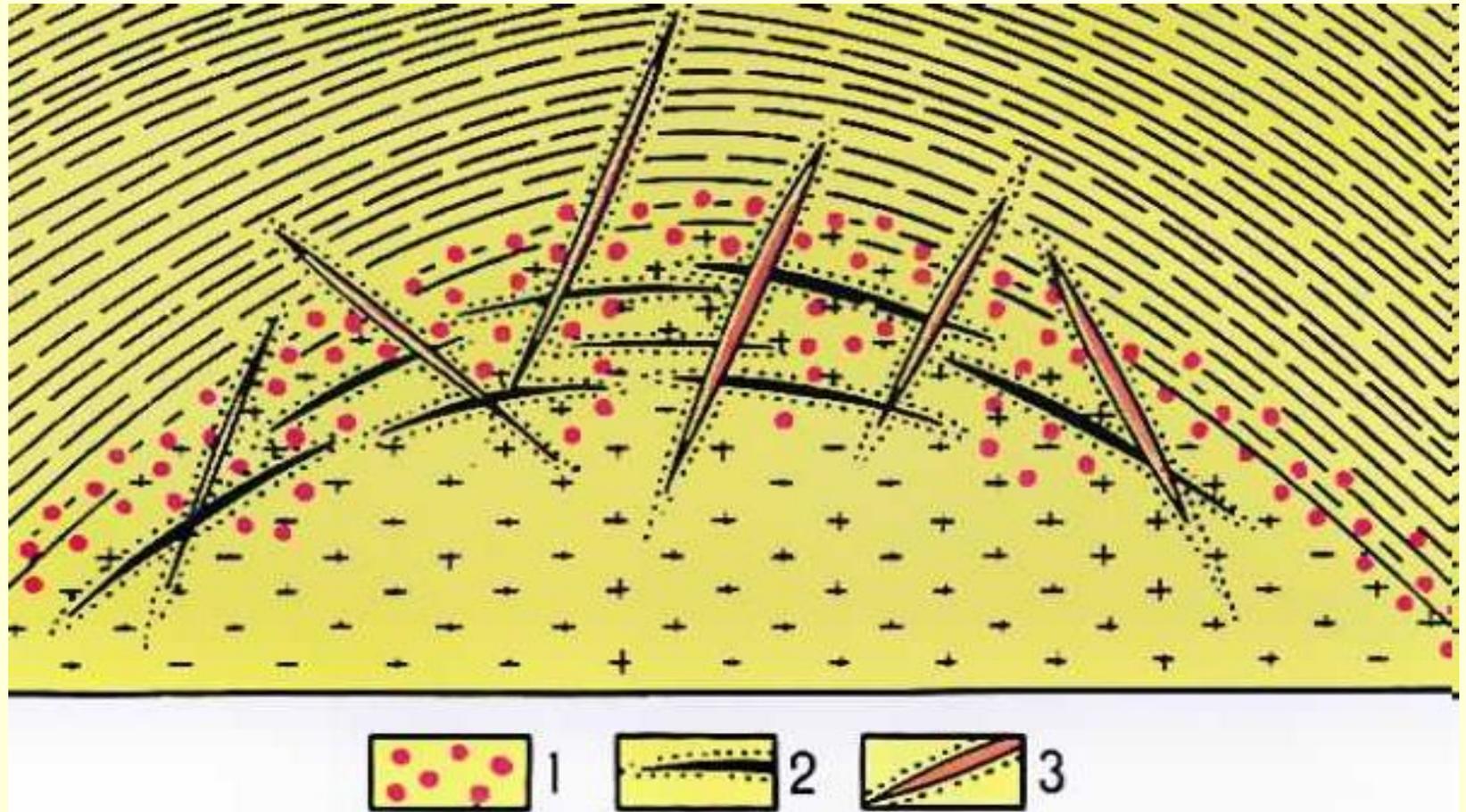
- 1 - известняки мраморизованные;
- 2 - слоистые туффиты, туфопесчаники;
- 3 - туфы роговообманково-плагиоклазовых порфиритов;
- 4 - роговообманково-плагиоклазовые порфириты;
- 5 - туфы и порфириты эпидотизированные;
- 6 - диориты;
- 7 - дайки диабазовых порфиритов;
- 8 - дайки спессартитов;
- 9 - скарны гранатовые;
- 10 - руда магнетитовая;
- 11 - скарново-халькопиритовая руда (вкрапленность и прожилки халькопирита в пироксен-гранатовом скарне);
- 12 - хлорит-серицит-кварц-карбонатные породы.

# Автометасоматиты

- Наиболее характерными автометасоматитами являются **альбититы, грейзены и вторичные кварциты**.
- **Альбититы** – метасоматиты, состоящие из альбита (не менее 70 % объема пород) и щелочных цветных минералов.
- Образуются при метасоматическом преобразовании полевошпатовых и кварц-полевошпатовых пород: сиенитов, гнейсов, вулканитов среднего и кислого состава, песчаников. **Связаны с плутонами щелочных гранитоидов**.
- Встречаются: 1) в зонах глубинных разломов; 2) вблизи контактов щелочных интрузивов; 3) в апикальных частях интрузивных массивов, сложенных щелочными гранитами.
- Формы залегания: крутопадающие линзы, пластообразные и жилообразные тела, реже штокверки и тела неправильной формы. В щелочных гранитоидах альбититы локализируются в апикальных частях или в выступах, апофизах, дайках. Протяженность зон альбитизации: десятки метров – первые километры. Мощность: от первых метров до десятков, реже – сотен метров.
- К альбититам приурочены месторождения Ta, Nb, Th, U, TR, Zr.
- **Грейзены** [grausen (др.нем.) – серый] – метасоматиты, сложенные кварцем, слюдами, топазом.
- Образуются при метасоматозе гранитоидов, кислых вулканитов, алюмосиликатных осадочных и метаморфических пород.
- **Связаны с плутонами лейкократовых гранитов**. Образуются как в самих гранитах, так и во вмещающих породах. Иногда формируют сплошные зоны приконтактной грейзенизации площадью до 10 км<sup>2</sup> и мощностью до 300-400 м. Выделяются эндогрейзены, залегающие среди гранитов и распространяющиеся вглубь от их кровли до 300-500 м, и экзогрейзены, находящиеся среди алюмосиликатных пород гранитной кровли и формирующиеся на протяжении до 1500 м вверх от контакта с гранитом. Характерны также тела жильной, пластообразной, трубообразной и неправильной формы протяженностью в десятки-сотни метров мощностью до первых метров.
- С грейзенами связаны месторождения W, Mo, Sn, Be, топаза.
- **Вторичные кварциты** – метасоматиты, содержащие не менее 50 % кварца. При меньшем количестве кварца метасоматиты называются кварц-корундовыми, кварц-андалузитовыми и т.п. Главными минералами являются: кварц, серицит, андалузит, алунит, корунд, диаспор, самородная сера
- Образуются по вулканогенным, вулканогенно-осадочным, и интрузивным породам кислого и среднего состава.
- **Приурочены к центрам преимущественно кислого и среднего вулканизма**; образуют массивы до первых километров в поперечнике. Массивы обычно имеют изометричную в плане форму и концентрически зональное строение. В сложно построенных массивах вторичные кварциты занимают либо центральные зоны, либо располагаются вокруг ядер кварц-калишпатовых метасоматитов и серицитолитов. По периферии развиваются широкие ореолы пропилитов и аргиллизитов. Неравномерное ожелезнение придает породам характерную пеструю окраску с чередованием белых, желтых и красных пятен
- С вторичными кварцитами связаны месторождения Mo, Cu, Zn, Pb, Au, Ag, U, корунда, алунита, самородной серы и др.

# Схема развития геологической структуры и процесса грейзенизации

[http://dic.academic.ru/pictures/enc\\_geolog/619.jpg](http://dic.academic.ru/pictures/enc_geolog/619.jpg)



1 - предрудная массовая грейзенизация гранитов и вмещающих пород; 2 - жильные и штокверковые грейзены ранней стадии; 3 - жильные грейзены поздней стадии

## 15.2.2. Структурные формы регионально-метасоматических пород

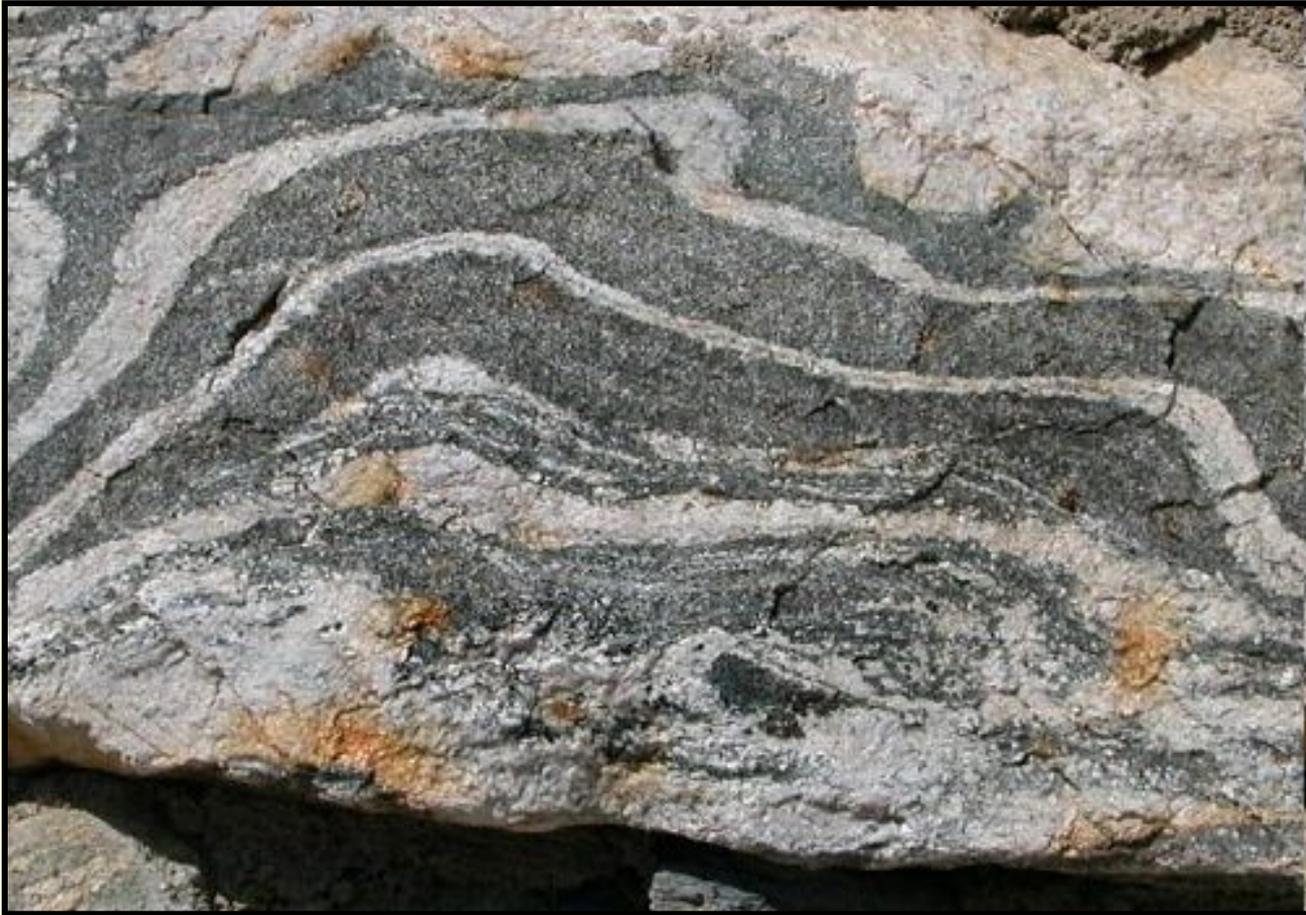
- В регионально-метасоматический класс объединяются породы, образование которых связано с региональным эндогенным тепломассопотоком. Подобные потоки в каждом отдельном случае проявляются на протяжении определенного эндогенного импульса, предваряя, сопровождая и завершая магматизм либо вообще не имея с ним непосредственной связи.
- Региональный метасоматоз - занимает огромные площади в различных геологических обстановках. Обычно он **имеет щелочную специфику** и связан с внедрением крупных магматических тел, образуя самые внешние зоны метасоматических колонок, связанных с рудными месторождениями.
- Наиболее распространенными метасоматическими преобразованиями горных пород регионального масштаба являются альбитизация и калишпатизация (фенитизация).
- Площадь, занимаемая метасоматически измененными породами может достигать нескольких тысяч квадратных километров при мощности в сотни метров.
- Метасоматические комплексы, природа петролита которых не установлена в связи с полным его замещением метасоматитами, на геологической карте изображаются с помощью специальных цветовых и штриховых обозначений и индекса проявления метасоматоза. Если природа петролита распознается, на геологической карте эти участки показываются соответственно как стратиграфические или магматические образования с обозначением штриховкой характера метасоматических преобразований, ограниченных изолинией распространения данных метасоматических пород, а также дополнительным индексом, указывающим время метасоматоза и возраст петролита.

## 15.3. Мигматиты

- К мигматитам относятся широко распространенные среди образований средней и высокой ступеней метаморфизма и метасоматоза полигенные горные породы, являющиеся продуктами прогрессивно направленных процессов метаморфизма и метасоматоза, часто завершающихся частичным или даже полным плавлением субстрата.
- Одна из составляющих мигматита представляет собой реликт метаморфической породы (палеосома), другая же – магматическое и/или метасоматическое новобразование (неосома).
- **МИГМАТИТ** (от греч. migma, род. падеж migmatos — смесь \* а. migmatife, injector gneiss; н. Migmatit; ф. migmatite; и. migmatita) — **горная порода** (от греч. migma, род. падеж migmatos — смесь \* а. migmatife, injector gneiss; н. Migmatit; ф. migmatite; и. migmatita) — горная порода, смесь магматического материала с реликтовым материалом метаморфических пород. Образуется при неполно прошедшем магматическом замещении метаморфических пород различного состава высоких ступеней **метаморфизма**, когда магматический расплав пронизывает замещаемую им породу.
- Мигматиты обычно связаны с гранитоидным **магматизмом**. Мигматиты обычно связаны с гранитоидным магматизмом. По текстурным признакам различают: полосчатый — представленный чередующимися полосами магматогенного материала и субстрата; линзовидно-полосчатый — с полосами линзочек магматогенного материала; очковый — с округлыми и округло-линзовидными порфиробластами **полевого шпата**. Мигматиты обычно связаны с гранитоидным магматизмом. По текстурным признакам различают: полосчатый — представленный чередующимися полосами магматогенного материала и субстрата; линзовидно-полосчатый — с полосами линзочек магматогенного материала; очковый — с округлыми и округло-линзовидными порфиробластами полевого шпата; метабластический — равномерно распределённый новообразованный материал в субстрате; порфиробластовый — с равномерным выделением магматического материала в виде порфиробласт; брекчиевидный (или агматит) — с выделением магматогенного материала в виде несогласно ориентированных прожилков и другие мигматиты. По химическим и физическим свойствам мигматиты разнообразны и промежуточны между различными метаморфическими и магматическими породами. Распространены среди метаморфических комплексов кристаллического **фундамента**.

## Мигматит

[http://img-fotki.yandex.ru/get/5311/47013038.a/0\\_6a5ff\\_13f49067\\_L.jpg](http://img-fotki.yandex.ru/get/5311/47013038.a/0_6a5ff_13f49067_L.jpg)



# Мигматит. Питкярантский район Южной Карелии

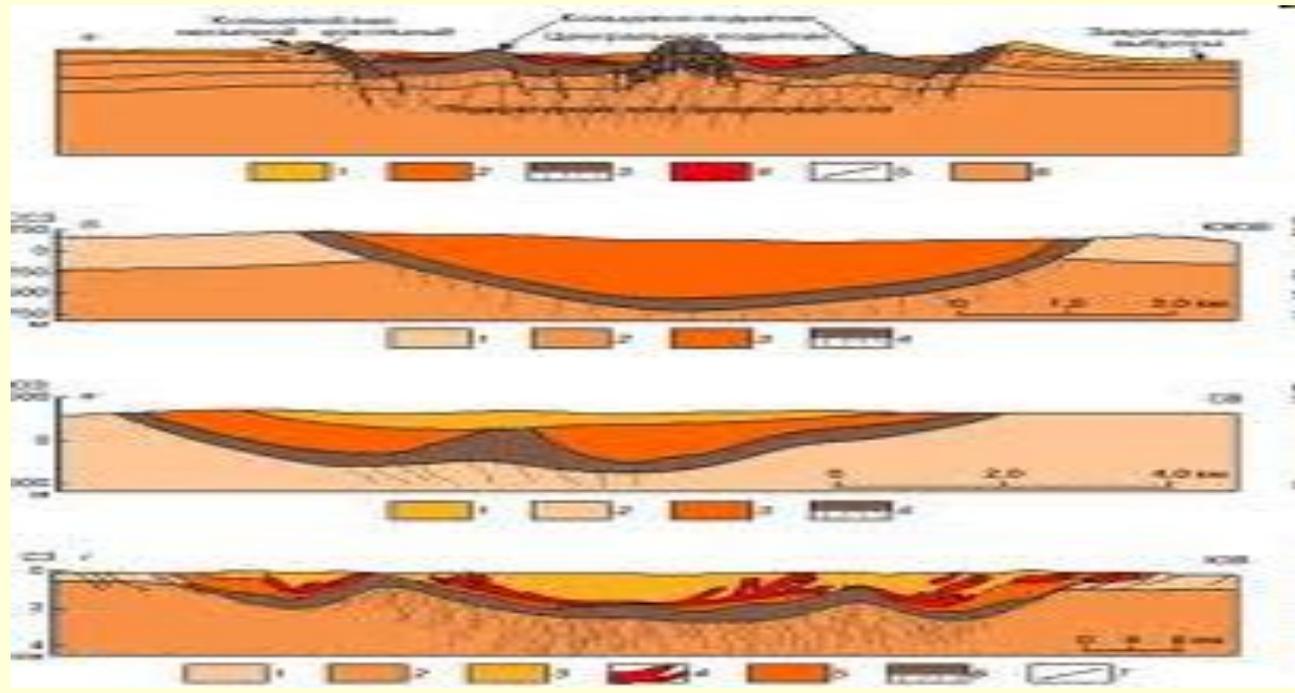
[http://wiki.web.ru/images/thumb/4/4d/Migmatite\\_karelia.jpg/800px-Migmatite\\_karelia.jpg](http://wiki.web.ru/images/thumb/4/4d/Migmatite_karelia.jpg/800px-Migmatite_karelia.jpg)



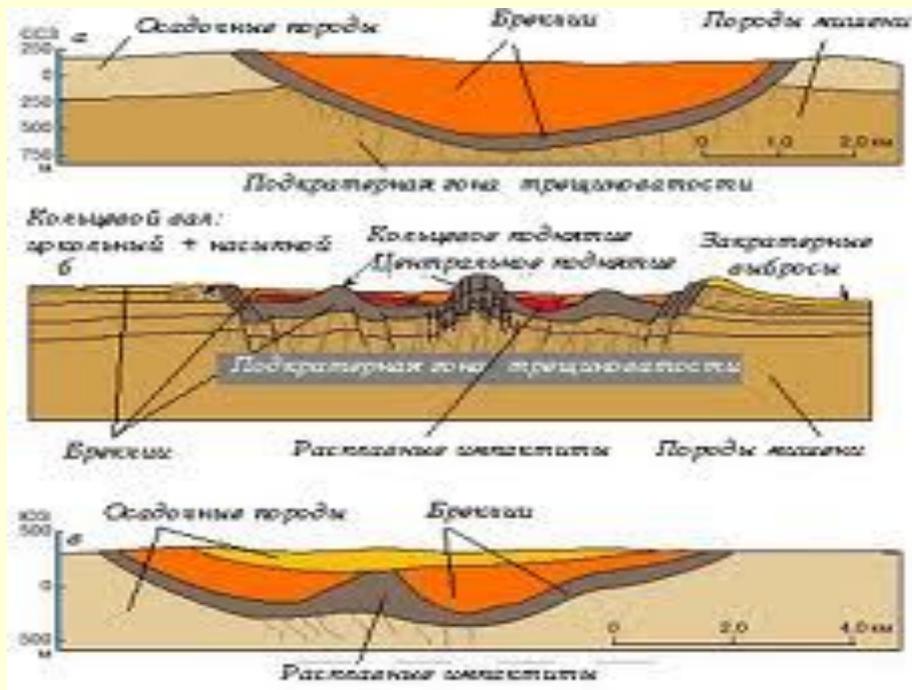
## 15.4. Импактиты

- **Импактиты** (от англ. *impact* — «столкновение», «удар») принадлежат к особому классу горных пород — «столкновение», «удар») принадлежат к особому классу горных пород, образовавшихся в результате ударно-взрывного (импактного) породообразования, при этом давления и температуры достигают десятков гигапаскалей — «столкновение», «удар») принадлежат к особому классу горных пород, образовавшихся в результате ударно-взрывного (импактного) породообразования, при этом давления и температуры достигают десятков гигапаскалей и 2000-3000°С, а скорости изменения этих параметров превышают скорости их эволюции в других типах породообразующих процессов на несколько порядков. Возникают при столкновении крупных метеоритов с поверхностью

- Обычно метеоритные кратеры образуют округлую структуру, окружённую приподнятым валом. Кратеры заполнены ударной брекчией, лежащей на трещиноватых породах. В середине кратеров часто присутствует центральное поднятие, сложенное хаотической брекчией, состоящей из вынесенных наверх пород дна кратера.
- При ударе метеорита о Землю возникают огромные давления (до 100 МПа) и температуры (до 2000°), которые могут приводить к образованию:
  - горных пород особого сложения (автохтонной и аллохтонной брекчий, импактитов) и структур.
  - высокобарических фаз кремнезёма (коэсита, стишовита), высокобарических минералов группы пироксена (жадеита) и группы шпинели, алмаза и др. минералов
  - **Импактиты** представляют собой ударные брекчии, одним из основных компонентов которых являются стекло или продукты его изменения, образующиеся при расплавлении претерпевших удар пород, и цементирующее обломки.
- Различают **две основные разновидности импактитов**:
  - **зювиты** (стекловато-обломочные) и
  - **тагамиты** (массивные).
- **Зювиты** представляют собой туфообразную массу «спекшихся» обломков стекла и пород либо рыхлый песок. Они находятся в аллохтонной брекчии, вместе с другими породами выполняют внутренние части воронок кратеров и в виде отдельных языков распространяются за их пределы.
- **Тагамиты** представлены однообразными пятнистыми породами с пористой, иногда пемзовидной текстурой, состоящими из обломков темно-серого или цветного стекла, которое имеет афанитовое строение и насыщено обломками пород и минералов. Тагамиты расположены внутри воронок, нередко образуя скальные обнажения со столбчатой отдельностью. Они слагают неправильные пластообразные и рукавообразные тела, залегающие на поверхности автохтонной брекчии в основании кратеров или над аллохтонной брекчией и зювитами, а также дайки, жерловины в автохтонной брекчии и псевдопокровы.



<http://t1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR1y4flG1u5DCeN5Bo-6esLYvfnRBh1rNw-RuZsjsFT7GtOBq08lg>



# Аризонский кратер Берринжера

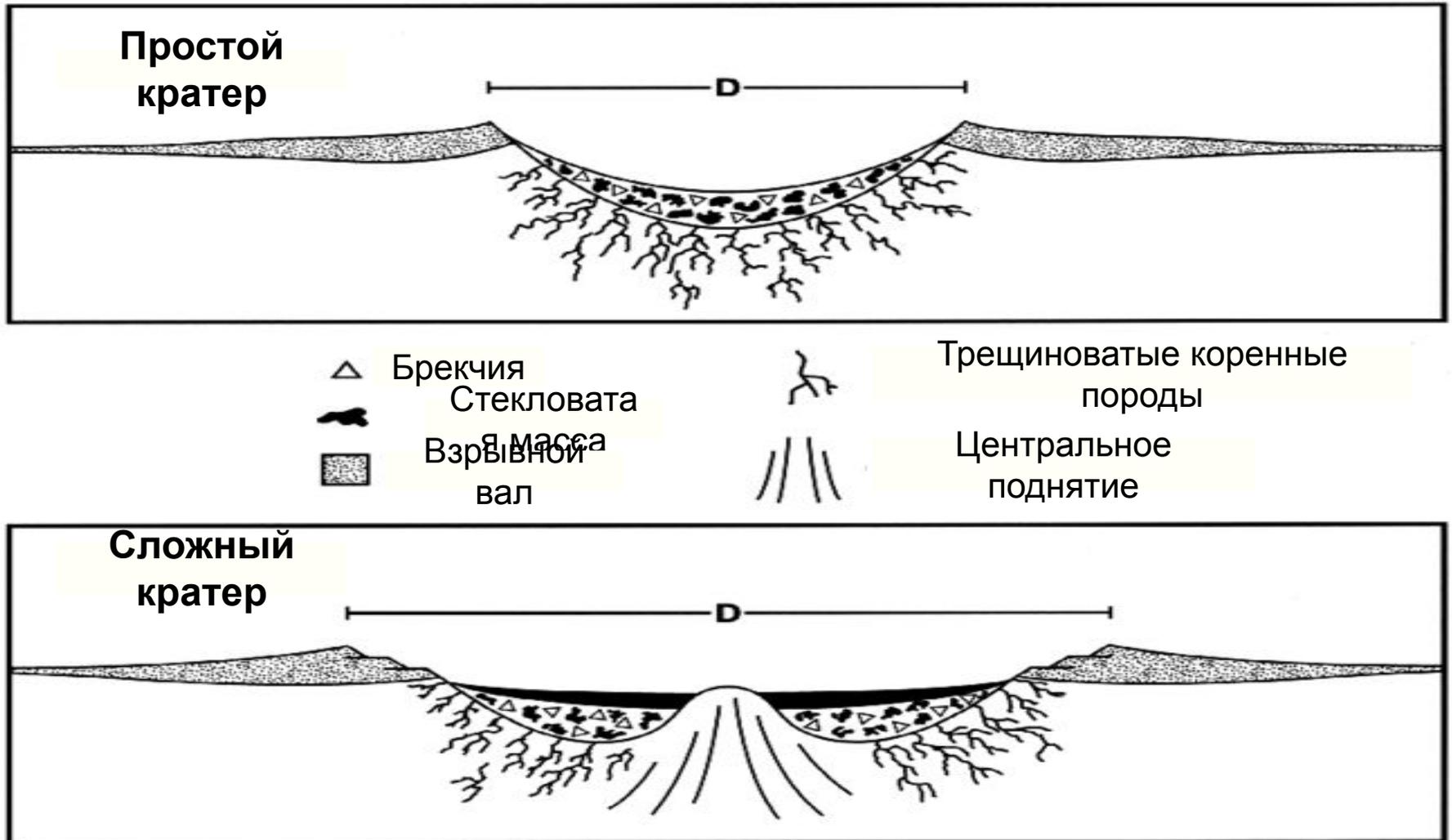
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/46/Meteorcrater.jpg/800px-Meteorcrater.jpg>



- Одним из первых учёных, связавших кратер с падением [метеорита](#) Одним из первых учёных, связавших кратер с падением метеорита, был [Дэниел Бэрринджер](#) ([англ.](#)) (1860—1929). Он изучал [ударный кратер в Аризоне](#), ныне носящий его имя. Однако в то время эти идеи не получили широкого признания (как и тот факт, что Земля подвергается регулярной метеоритной бомбардировке).
- В 1920-е годы американский геолог [Уолтер Бачер](#), исследовавший ряд кратеров на территории США, высказал мысль, что они вызваны некими взрывными событиями в рамках его теории «пульсации Земли».
- В [1936](#) В 1936 геологи [Джон Бун](#) В 1936 геологи Джон Бун и [Клод Албриттон](#) продолжили исследования Бачера и пришли к выводу, что кратеры имеют импактную природу.
- Теория ударного происхождения кратеров оставалась не более чем гипотезой вплоть до 1960-х. К этому времени ряд учёных (в первую очередь [Юджин Шумейкер](#) Теория ударного происхождения кратеров оставалась не более чем гипотезой вплоть до 1960-х. К этому времени ряд учёных (в первую очередь Юджин Шумейкер) провели детальные исследования, полностью подтвердившие импактную теорию. В частности, были обнаружены следы веществ, называемых [импактитами](#) Теория ударного происхождения кратеров оставалась не более чем гипотезой вплоть до 1960-х. К этому времени ряд учёных (в первую очередь Юджин Шумейкер) провели детальные исследования, полностью подтвердившие импактную теорию. В частности, были обнаружены следы веществ, называемых импактитами (например, [en:Shocked quartz](#)), которые могли образоваться только в специфических условиях импакта.
- После этого исследователи стали целенаправленно искать [импактиты](#) После этого исследователи стали целенаправленно искать импактиты, чтобы идентифицировать древние ударные кратеры. К 1970-м было найдено около 50 импактных структур. На территории

# Схема строения импактных структур

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/47/Craterstructure.gif/400px-Craterstructure.gif>



# Ударный кратер Маникуаган

КОСМОСНИМОК, Квебек, Канада

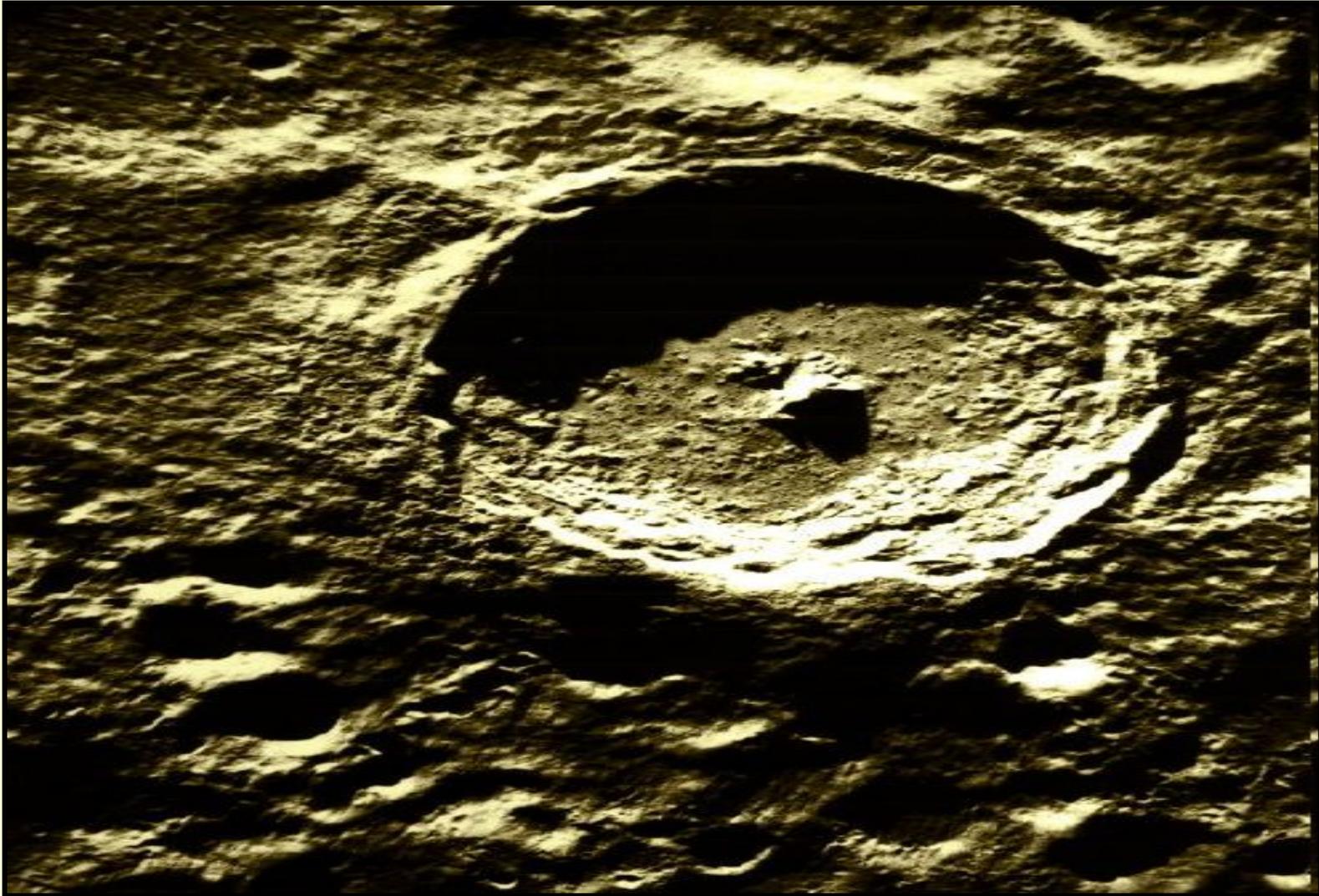
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5c/STS009\\_Manitouagan.jpg/600px-STS009\\_Manitouagan.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5c/STS009_Manitouagan.jpg/600px-STS009_Manitouagan.jpg)



- Кратер Маникуаган — ударный кратер — ударный кратер в центральной части провинции Квебек — ударный кратер в центральной части провинции Квебек, Канада — ударный кратер в центральной части провинции Квебек, Канада, который сформировался в результате столкновения с астероидом — ударный кратер в центральной части провинции Квебек, Канада, который сформировался в результате столкновения с астероидом диаметром 5 км. Удар астероида создал кратер около 100 км в диаметре, но в процессе эрозии — ударный кратер в центральной части провинции Квебек, Канада, который сформировался в результате столкновения с астероидом диаметром 5 км. Удар астероида создал кратер около 100 км в диаметре, но в процессе эрозии и отложения осадочных пород — ударный кратер в центральной части провинции Квебек, Канада, который сформировался в результате столкновения с астероидом диаметром 5 км. Удар астероида создал кратер около

# Кратер Тихо на Луне (фото НАСА)

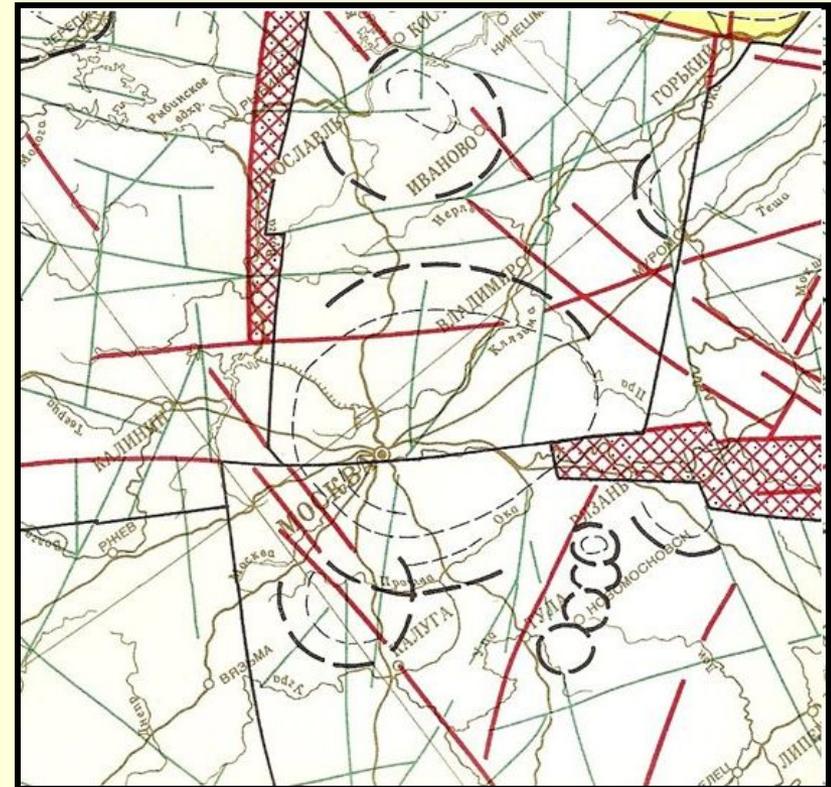
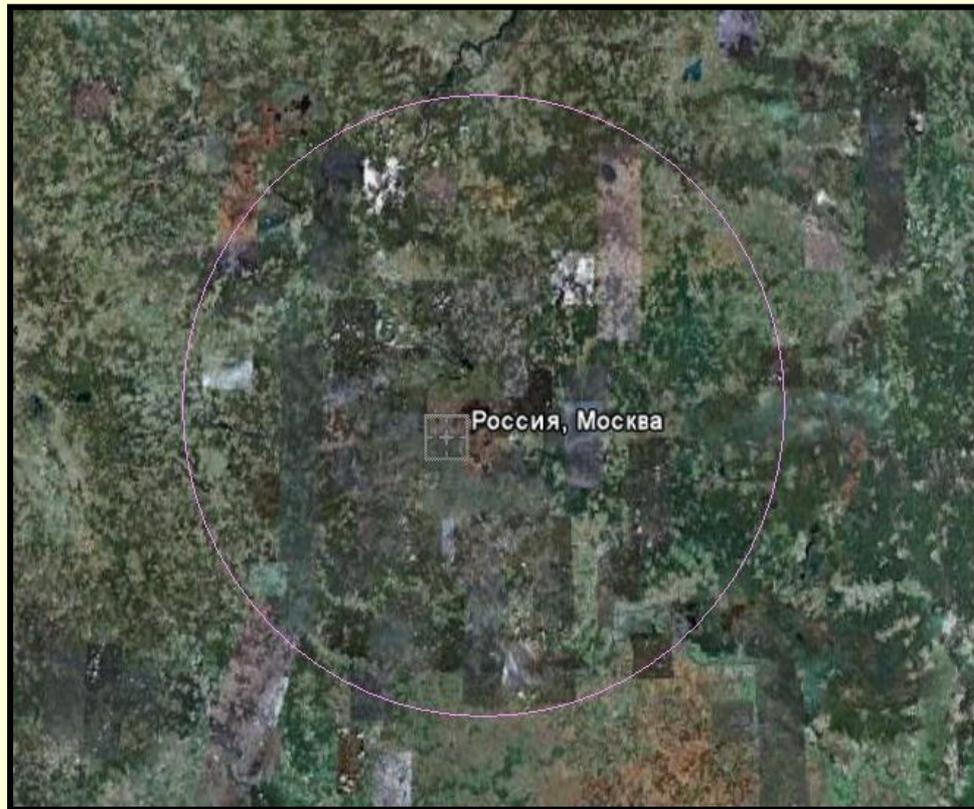
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f8/Tycho\\_crater\\_onthe\\_Moon.jpg/250px-Tycho\\_crater\\_on\\_the\\_Moon.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f8/Tycho_crater_onthe_Moon.jpg/250px-Tycho_crater_on_the_Moon.jpg)



# Фрагмент Космогеологическая карта линейных и кольцевых структур территории СССР. 1:5000000 / Гл.

редактор А.Д.Щеглов. 1979

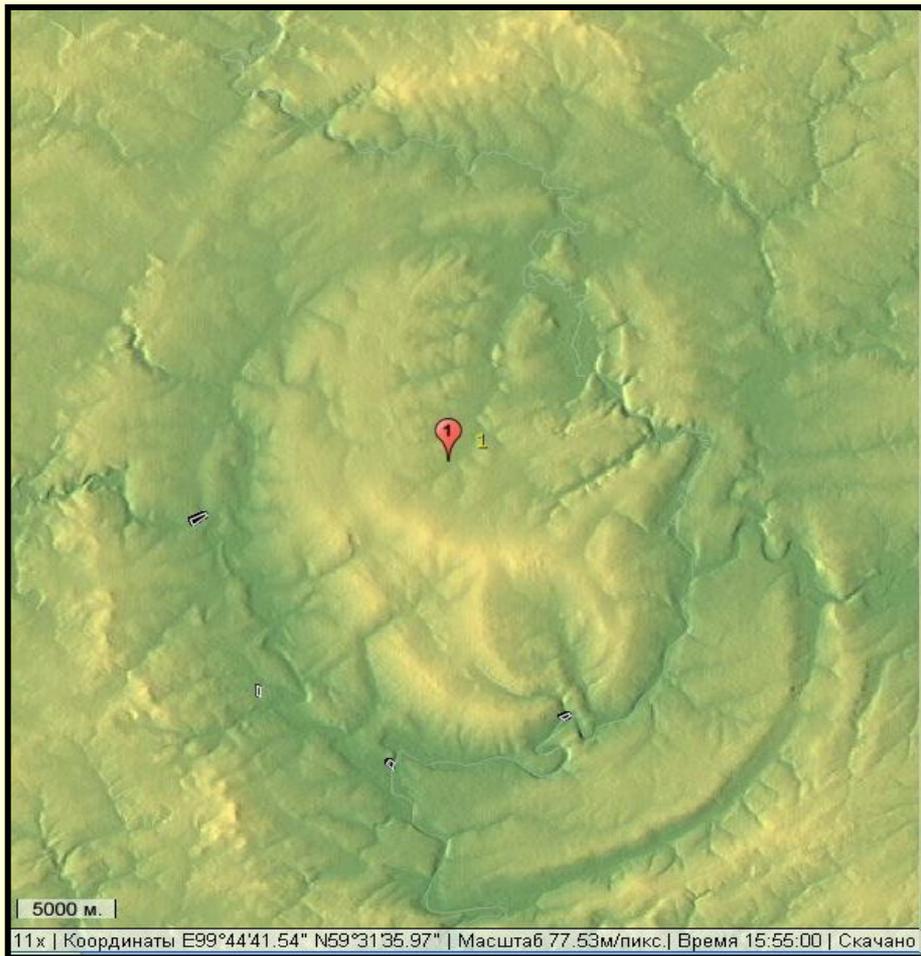
[http://labmpg.sccc.ru/Impact/acraters\\_n946ph.jpg](http://labmpg.sccc.ru/Impact/acraters_n946ph.jpg)



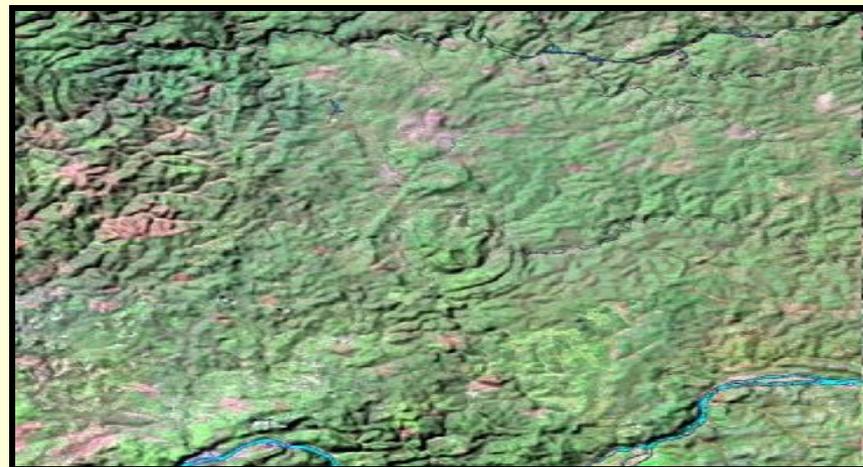
# Фрагмент Космогеологическая карта линейных и

## кольцевых структур территории СССР

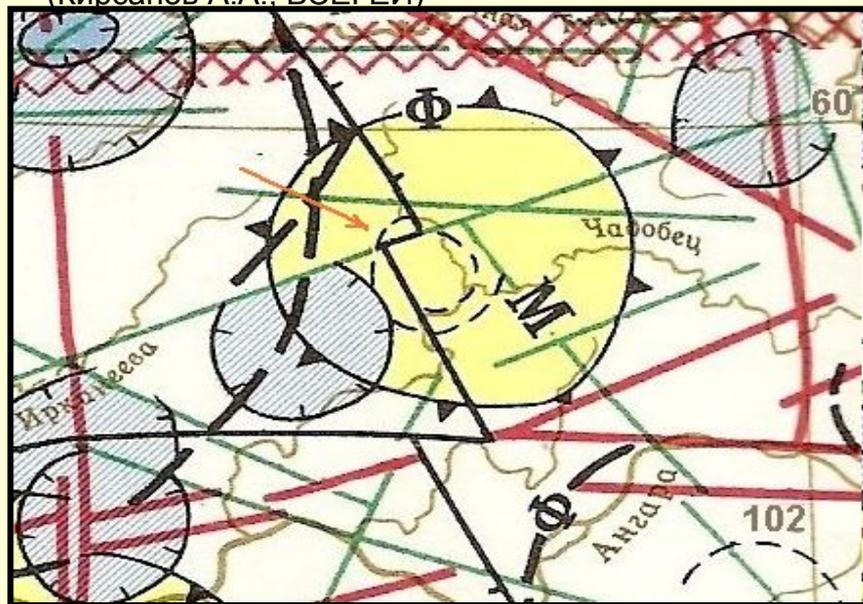
[http://labmpg.sscs.ru/impact/acraters\\_n872ph1.jpg](http://labmpg.sscs.ru/impact/acraters_n872ph1.jpg)



•Фото Н.Филина



Спутниковая фотография района астроблемы из "Космический образ России по данным Landsat 7" (Кирсанов А.А., ВСЕГЕИ)





**Луна со  
стороны  
полюса.  
Отчетливо  
видны округлые  
астроблемы**

**<http://www.glubinnaya.info/stezya/stezya1/part1.files/image009.jpg>**