

# Метаморфогенные месторождения



**Термином «метаморфизм» обозначают разнообразные эндогенные процессы, с которыми связаны те или иные изменения в структуре, минеральном и химическом составе горных пород в условиях, отличающихся от их первоначального образования** (Геологический словарь, 1978).

Главными факторами метаморфизма является температура, давление, состав и химическая активность растворов или флюидов. Метаморфические преобразования заключаются в распаде первоначальных минералов, в молекулярной перегруппировке и образовании новых, более устойчивых ассоциаций минеральных видов, т.е. сводятся *к частичной или полной перекристаллизации пород с образованием новых структур и, в большинстве случаев, новых минералов.*

Метаморфические процессы весьма многообразны по форме проявления и характеру преобразования пород. Они классифицируются с учетом отдельных факторов: термодинамических, физико-химических и геологических условий. Главными типами метаморфизма являются: **региональный метаморфизм, в том числе ультраметаморфизм, контактовый метаморфизм, динамометаморфизм.**

# Региональный метаморфизм

**Региональный метаморфизм** представляет собой совокупность метаморфических изменений горных пород, вызываемых **односторонним и гидростатическим давлением и температурой**. Они проявляются *на больших пространствах* в связи с формированием подвижных поясов земной коры и находятся вне зависимости от магм. На больших глубинах действие одностороннего давления постепенно затухает, а гидростатического – все возрастает. Растет и температура вплоть до проявления ультраметаморфизма и палингенеза (от греч. palin снова, опять и genesis происхождение, возникновение).

При региональном метаморфизме образуются метаморфические и кристаллические сланцы и гнейсы. Выделяют различные фации регионального метаморфизма:

- **зеленосланцевую,**
- **эпидот-амфиболитовую,**
- **амфиболитовую,**
- **гранулитовую,**
- **глаукофановых сланцев и**
- **эклогитовую.**

**Ультраметаморфизм** выделяется как крайний случай регионального метаморфизма. С ультраметаморфизмом связаны такие явления как гранитизация, мигматизация, анатексиз, палингенез и реоморфизм.

# Контактовый метаморфизм

Контактовый метаморфизм – различные изменения вмещающих пород, обусловленные тепловым и химическим воздействием интрузивных магматических масс.

Представляет собой почти изохимическое преобразование пород под влиянием высоких температур вблизи интрузивных тел, происходящее обычно в статических условиях. Интенсивность контактового метаморфизма, характер вызванного им преобразования горных пород **зависят от первоначального состава пород, удаленности их от контакта, глубинности процесса, размеров, формы и характера контактов интрузивного тела, состава слагающих его пород, участия в метаморфизме летучих веществ и растворов.** Степень преобразования пород убывает в направлении удаления от контакта с интрузией. Типичными продуктами контактового метаморфизма являются различные роговики. Выделяют фации контактового метаморфизма: **альбит-эпидот-роговиковую, роговообманково-роговиковую, пироксен-роговиковую и санидинитовую.**

# Контактовый метаморфизм



# Динамометаморфизм

Динамометаморфизм – структурное и, в меньшей степени, минеральное **преобразование горных пород под воздействием тектонических сил без участия магмы**. Основными факторами динамометаморфизма являются гидростатическое давление и одностороннее давление (стресс). В зависимости от величины и соотношения гидростатического и одностороннего давлений динамометаморфизм либо проявляется в частичной или полной перекристаллизации горных пород без нарушения их сплошности, либо приводит к разрушению, раздроблению пород. Продуктами такого метаморфизма являются *катаклазиты, милониты и различные сланцы*.

Особым типом динамометаморфизма является **ударный метаморфизм** – **изменения в горных породах и минералах, обусловленные прохождением мощной ударной волны**. Единственным известным природным процессом, при котором проявляется ударный метаморфизм, является **падение крупных метеоритов**. Его особенности: мгновенность проявления, высокие пиковые давления (от 10-100 кбар до Мбар), высокие остаточные температуры (свыше 1500°С) и кинетические реакции преобразования вещества. При ударном метаморфизме возникают высокобарические фазы ряда соединений (коэсит, стишовит, алмаз, рингвудит), происходит дробление минералов, разрушение их кристаллических решеток (появление диаплектовых минералов и стекол).

Ударный кратер на поверхности Земли называют **астроблемой** (от древнегреческого  $\alpha\sigma\tau\rho\upsilon\nu$  - звезда и греческого  $\beta\lambda\eta\mu\alpha$  - рана, то есть «**звёздная рана**»). Термин «астроблема» введён в 1960 Дицем.

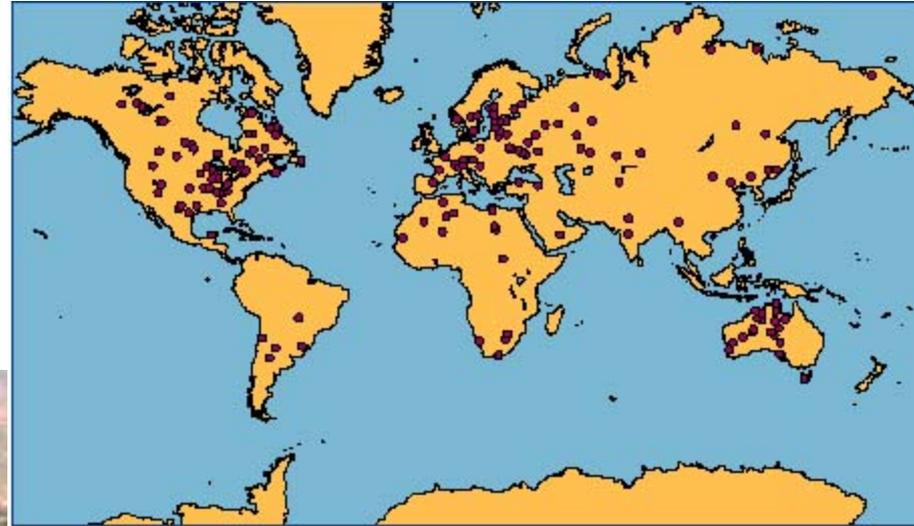
## Возраст некоторых крупных астроблем

Наименование	Диаметр (км)	Возраст (млн.лет)
Асгатап, Австралия	160	570
Chicxulub, Мексика	170	$64,98 \pm 0,05$
Попигай (Porigai), Россия	100	$35 \pm 5$
Sudbury, Онтарио, Канада	200	$1850 \pm 3$
Vredefort, Южная Африка	140	$1970 \pm 100$

# Астроблемы



**Астроблема Швайнг (Южная Африка) имеет диаметр 1.2 км.; время ее образования 220 000 лет. Хорошо видны цокольный кольцевой вал высотой 60 м. и уплощенное дно, покрытое глинистыми соленосными отложениями четвертичного периода**



Распределение астроблем по поверхности Земли. Видно, что наибольшее их количество выявлено в лучше изученных районах.



## Фазы высокого давления в астроблемах

<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>КОЭСИТ</b> (моноклинный) <b>СТИШОВИТ</b> (тетрагональный)
<b>C</b>	<b>алмаз</b> (кубический) <b>лонсдейлит</b> (гексагональный)
<b>MgSiO<sub>3</sub></b>	<b>меджорит</b> (кубический) Mg <sub>4</sub> S <sub>4</sub> iO <sub>12</sub>
<b>Mg<sub>2</sub>Si<sup>VI</sup>O<sub>4</sub></b>	<b>рингвудит</b> (кубический) Si <sup>VI</sup> (Fe,Mg) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>

## Механизмы формирования высокоплотных фаз в астроблемах

<u>Кристаллизация из импактного расплава</u>	<b>коэсит</b> <b>стишовит</b> <b>алмаз</b> <b>меджорит</b> <b>рингвудит</b>
Твердофазная стадия ударного метаморфизма	
<u>Мартенситный фазовый переход</u>	<b>стишовит</b> <b>лонсдейлит</b> <b>алмаз</b>
<u>Перекристаллизация с миграцией вещества</u>	<b>коэсит</b> <b>алмаз</b> <b>(тогорит)</b>

# Фации метаморфизма

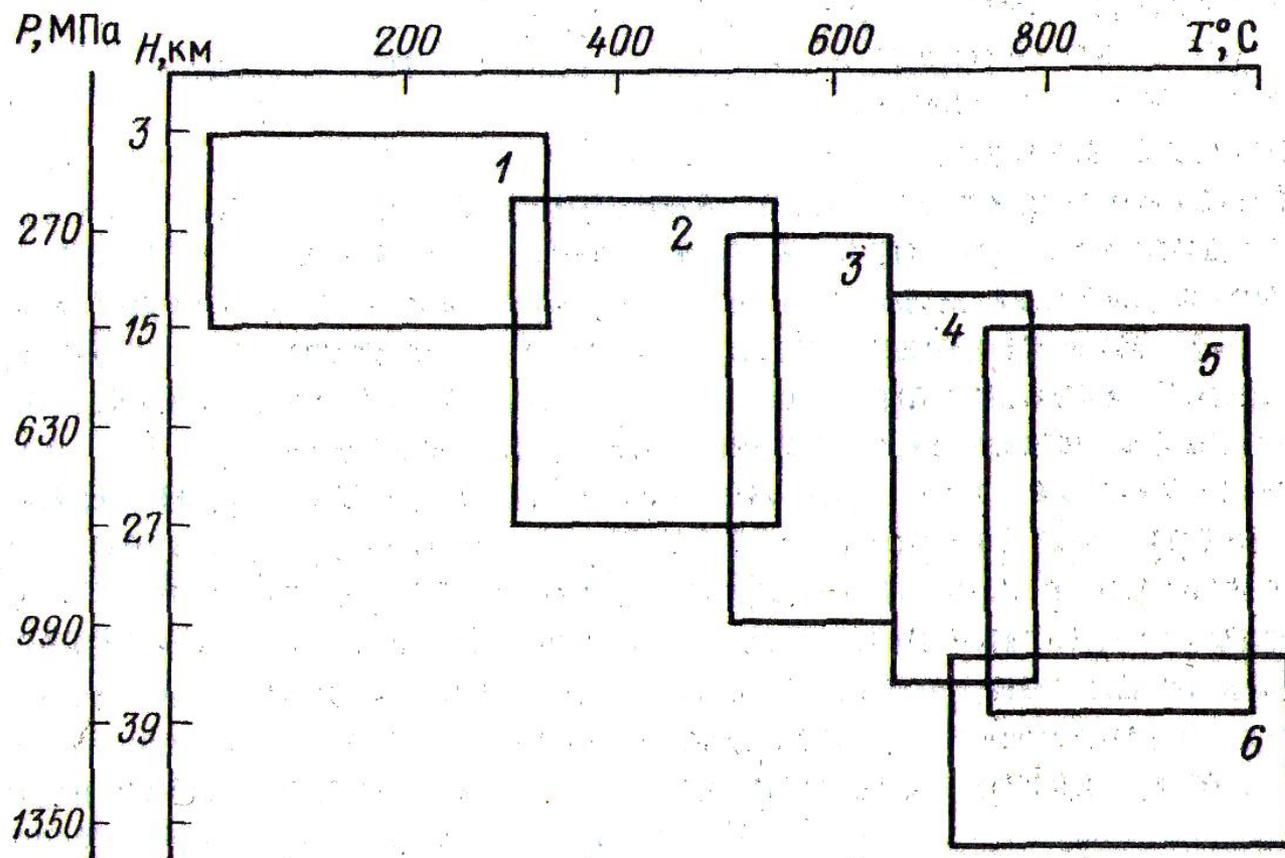


Рис. 109. Физические условия возникновения метаморфических фаций. По данным П. Эсколы, Н. Елисеева, В. Соболева, Ф. Тернера, Дж. Ферхугена и др.:

1—6 — фации: 1 — цеолитовая, 2 — зеленсланцевая, 3 — амфиболитовая, 4 — глаукофановая, 5 — гранулитовая, 6 — эклогитовая

Принято выделять два типа метаморфизма: **прогрессивный**, идущий с возрастанием температуры и давления, и **регрессивный** (или **диафторез**), проходящий при смене фаций от более высокотемпературных к низкотемпературным.

Метаморфизм, особенно региональный, способен уничтожить месторождения полезных ископаемых, радикально их изменить или создать новые.

# **Метаморфогенные месторождения - залежи полезных ископаемых, образовавшиеся в процессе метаморфизма горных пород, в обстановке высоких давлений и температур. Разделяются на метаморфизованные и метаморфические.**

*Метаморфизованные месторождения* возникают вследствие процессов регионального и локального метаморфизма полезных ископаемых. **Тела полезных ископаемых деформируются и приобретают черты, свойственные метаморфическим породам, — развиваются сланцеватые и волокнистые текстуры, гранобластические структуры. Минералы малой плотности заменяются минералами высокой объёмной массы. Водосодержащие минералы вытесняются безводными, аморфное вещество раскристаллизовывается.** Наибольшее количество метаморфизованных месторождений известно среди докембрийских формаций (например, железорудные месторождения в Криворожском бассейне и Курской магнитной аномалии в СССР; месторождения марганца в Бразилии и Индии, золотых и урановых руд в Южной Африке).

*Метаморфические месторождения* возникают вновь в процессе метаморфизма горных пород.

Известняки превращаются в мраморы, песчаники — в кварциты, глинистые породы — в кровельные сланцы, а при высокой степени метаморфизма — в залежи андалузита, кианита и силлиманита, на месте бокситовых отложений возникают наждаки.

# Типы метаморфогенных месторождений

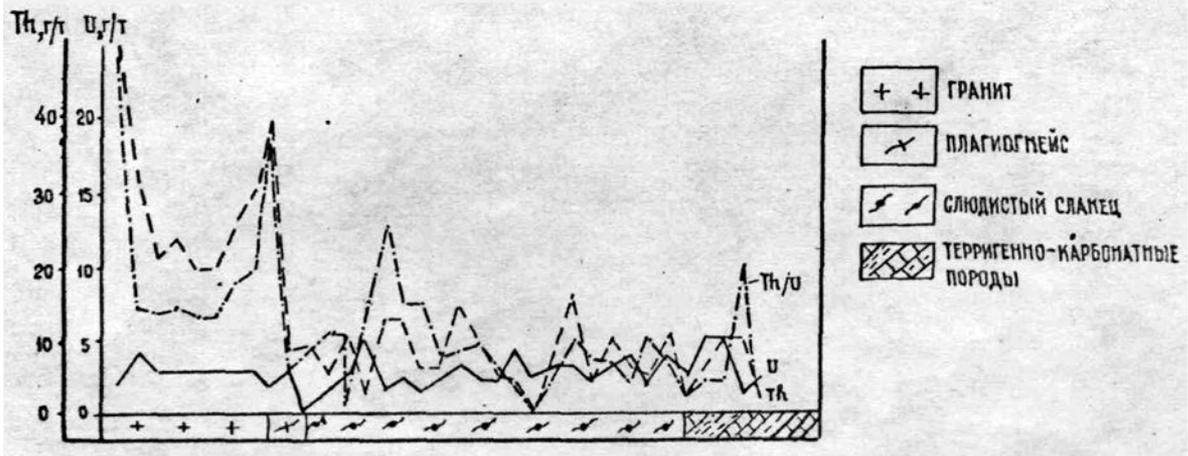
1. Регионально метаморфизованные
2. Контактво метаморфизованные
3. Метаморфические

*Принято метаморфические месторождения  
классифицировать  
по типам метаморфизма:*

- **региональные,**
- **контактвые,**
- **динамометаморфические,**
- **ударные;**

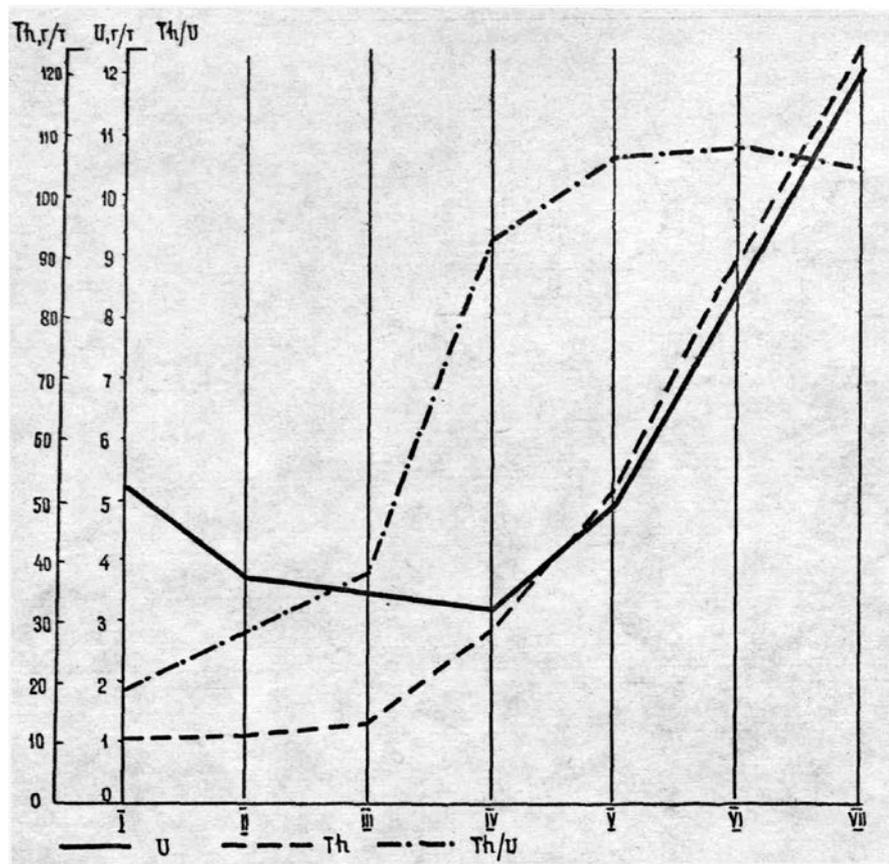
# Предпосылки образования метаморфических месторождений

1. Первичное дометаморфическое обогащение полезными компонентами пород; устанавливаются повышенные концентрации U, Au, Fe, Mn, P, Pb, Zn, Cu, Al и др.
2. Диффузионный вынос вещества, включая породные и рудные элементы, из зон ультраметаморфизма и гранулитов и их перераспределение в зеленосланцевых и амфиболитовых фациях в условиях термостатирования.
3. Условия экранирования рудоформирующих метаморфогенных систем, создающих термостатирование.



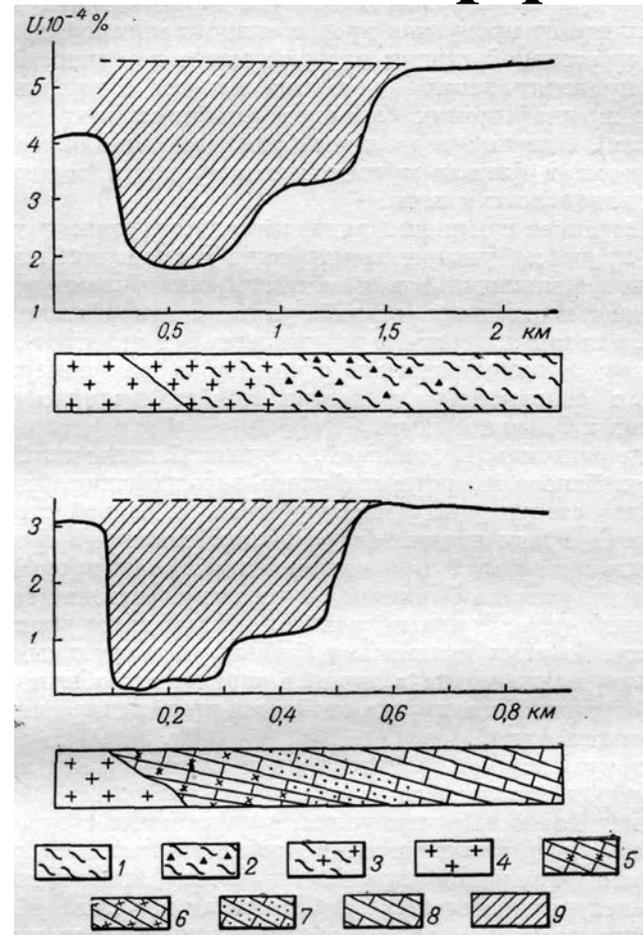
Радиогеохимический профиль по долине р. Туманшетки через Переберинско-Подпорогский гранито-гнейсовый купол в Протеросьяне

Распределение урана и тория по зонам в пределах Переберинско-Подпорогского гранито-гнейсового купола в Протеросьяне (Арбузов, 1991).  
 I – глинистые сланцы, II – двуслюдяные сланцы с гранатом, III – плагиогнейсы биотитовые, IV – гнейсо-граниты биотитовые, V – гнейсо-граниты биотитовые флюоритизированные, VI – палингенно-анатектические жильные порфиоровидные граниты, VII – флюоритизированные палингенно-анатектические граниты.



# Уран и торий при контактовом метаморфизме

В условиях прогрессивного контактового метаморфизма около гранитов, прорывающих хемогенные и терригенные отложения, также наблюдается миграция урана. Особенно велика потеря урана породами на фоне отторжения углекислоты и воды и выгорания органического вещества при контактовом метаморфизме первично обогащенных рудными элементами битуминозных и углеродистых осадков



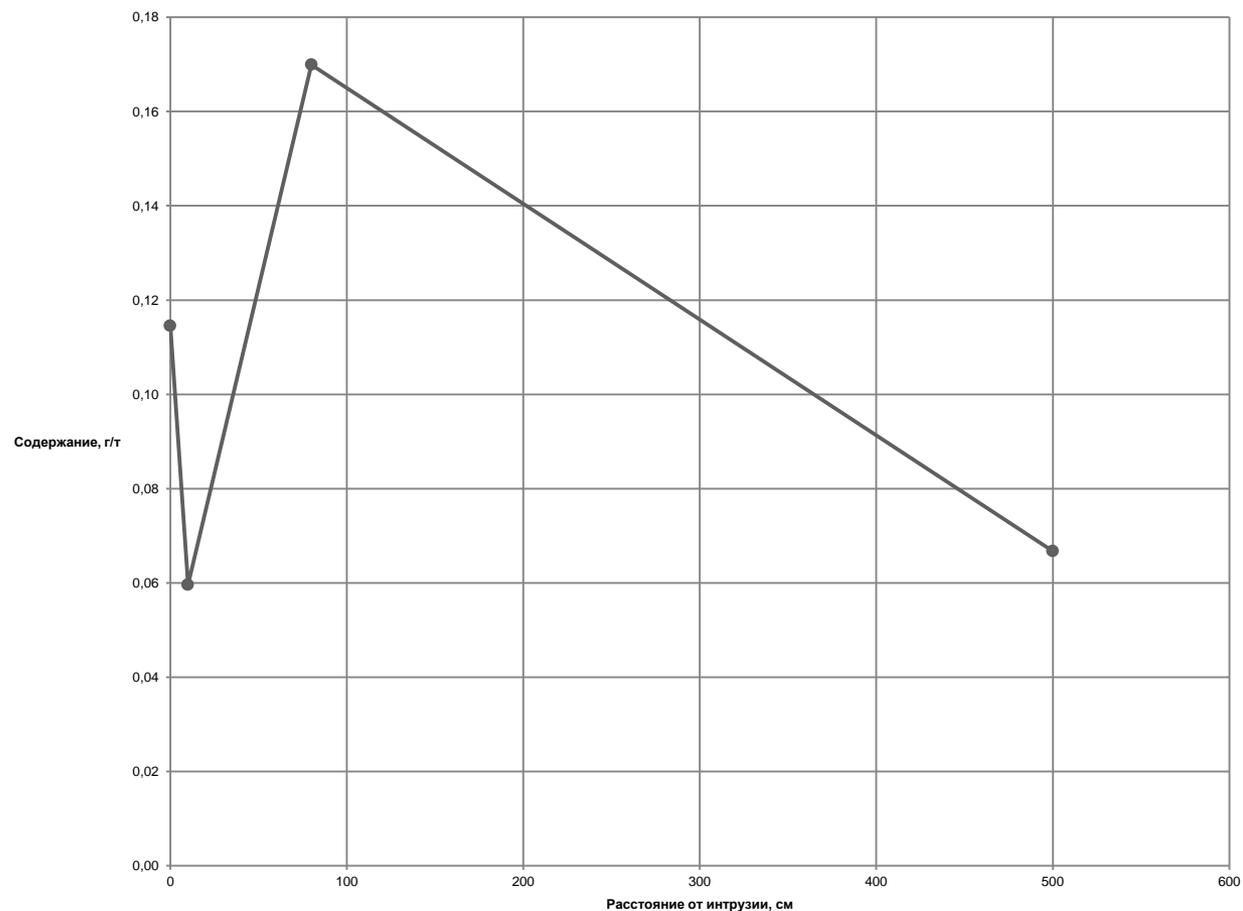
Распределение урана в ороговикованных породах из зон контактового изменения гранитоидных интрузий Средней Азии (взято у А.А. Смыслова, 1974).

Сланцы: 1 – углеродисто-кремнистые, 2 – слабо ороговикованные (биотит-хлоритовые роговики); 3 – интенсивно ороговикованные породы, 4 – гранодиориты; мраморы: 5 – интенсивно перекристаллизованные, 6 – доломитизированные; известняки: 7 – окварцованные и частично скарнированные, 8 – неизмененные битуминозные; 9 – области выноса урана при контактовом метаморфизме.

# Изменение содержания урана на контакте с дайкой андезибазальта

Д

U



# Основные черты метаморфогенных месторождений

1. Пространственная и временная связь оруденения с метаморфическими образованиями, среди которых наиболее распространены архей-протерозойские комплексы.
2. Согласное залегание уплощенных рудных тел и метаморфических пород, часто образующих единые складчатые формы.
3. Особенности минерального состава руд и вмещающих их пород, указывающие на одинаковые термодинамические условия их образования и признаки изохимических реакций.
4. Плитообразные, линзовидные, лентовидные и уплощенно-штокверковые рудные тела.
5. Текстуры и структуры руд, свойственные метаморфическим породам (гнейсовые, сланцевые, гранобластовые, плейчатые и пр.).

# Метаморфогенные месторождения в фациях регионального метаморфизма

Фация	Важнейшие минералы	Полезные ископаемые
Цеолитовая Зеленых сланцев	Кварц, альбит, хлорит, пумпеллиит	Самородной меди (типа оз. Верхнего)
	Кварц, альбит, биотит, мусковит, тремолит, хлорит, эпидот	Магнетит-гематитовые кварциты, золото и уран, колчеданы, наждак, плотный графит, асбест, нефрит, горный хрусталь
Глаукофановая	Кварц, спессартин, родонит, бустамит, глаукофан, эгирин, жадеит, лавсонит, мусковит, эпидот, хлорит, кальцит	Силикатные марганцевые и цинковые руды; магнетит-амфиболовые руды
Амфиболитовая	Кварц, кианит, ставролит, плагиоклаз, гранат, роговая обманка, диопсид, слюда	Железные руды таконитов и итабиритов; сульфидные руды; кианит, диаспор, силлиманит, андалузит, корунд, наждак, флогопит, кристаллический графит, ильменит, апатит, лазурит
Гранулитовая	Кварц, плагиоклаз, полевой шпат, роговая обманка, диопсид, гиперстен, гранаты, силлиманит, биотит, рутил	Амфибол-пироксен-магнетитовые кварциты, гранаты, рутил
Эклогитовая	Омфацит, гранат, кианит, энстатит, рутил	Рутил (титан)

## Регионально метаморфизованные месторождения

В классе регионально метаморфизованных месторождений известны месторождения Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Au, U, P.

Все они залегают среди докембрийских и, редко, раннепалеозойских пород.

Примеры:

- Железорудные месторождения Кривого Рога и Курской магнитной аномалии;
- Марганцевые месторождения в Бразилии (Минас-Жерайс), Индии, Африке, Австралии;
- Золота и урана в ЮАР;
- Апатитовые в Сибири.

# Регионально метаморфизованные месторождения железных руд

Распространены среди докембрийских, реже среди нижнепалеозойских пород всех платформ земного шара. Эти руды составляют подавляющую часть мировых запасов Fe и являются главным его источником на мировом рынке. Среди них выделяют три разновидности:

- Железистые кварциты;
- Такониты;
- Итабириты.

**Железистые кварциты** - метаморфическая горная порода хемогенно-осадочного происхождения, состоящая в основном из кварца, магнетита, гематита (не всегда) и имеющая характерное тонкослоистое строение.

**Железистый кварцит** — наиболее распространённый член железисто-кремнистой формации, включающей также *малорудные и безрудные кварциты, магнетитовые и безрудные куммингтонитовые сланцы, карбонат-магнетитовые руды, магнетитовые гнейсы* и некоторые другие породы. К месторождениям Fe кварцитов относятся Кривой Рог, КМА, Оленегорское на Кольском полуострове, Чаро-Токкинское в Забайкальском крае, Хинганское на Дальнем Востоке. За рубежом это месторождение оз. Верхнего в США, полуострова Лабрадор в Канаде, месторождения Бразилии, Швеции, Индии, КНДР, КНР, Южной Африки, Австралии.

Их состав определяется чередованием тонких прослоев **кварца с гематитом и магнетитом** в ассоциации со слюдяными, амфиболовыми и хлоритовыми сланцами, что позволяет относить их к фации зеленых сланцев

**Такониты** представляют собой *грубополосчатые руды*, в состав которых помимо магнетита и кварца входят куммингтонит, гранат и амфиболы, что позволяет отнести их **к амфиболитовой фации метаморфизма**.

К месторождениям таконитов относятся низы некоторых железорудных формаций КМА, Кривого Рога, а также районов Малого Хингана.

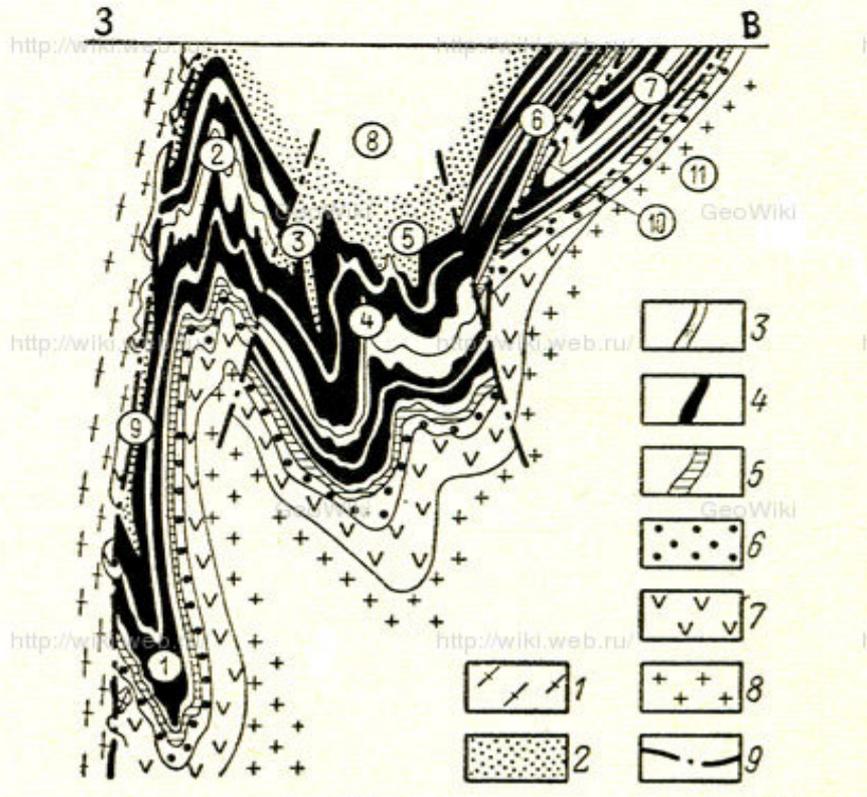
Состав **итабиритов** определяется *тонкополосчатым чередованием гематита, магнетита и кварца* с небольшим количеством амфибола, граната, пироксена, полевого шпата, что также указывает на амфиболитовую фацию метаморфизма.

К месторождениям итабиритов относятся некоторые залежи Австралии, Бразилии, Венесуэлы, Швеции, Норвегии.

Рис. 1 Тектоническая схема Криворожского бассейна в районе г. Кривого Рога. По Я. Белевцеву.

1 — микроклин-плагноклазовые граниты; 2 — отложения верхней свиты криворожской серии; 3 — сланцевые горизонты средней свиты; 4 — железистые горизонты средней свиты; 5 — тальк-карбонатный горизонт; 6 — отложения нижней свиты; 7 — амфиболиты; 8 — плагнограниты; 9 — тектонические нарушения.

Складчатые и разрывные структуры: 1 — Лихмановская синклиналь, 2 — Тарапако-Лихмановская антиклиналь, 3 — Западно-Ингулецкая синклиналь, 4 — Советская антиклиналь, 5 — Восточно-Ингулецкая синклиналь, 6 — Саксаганская антиклиналь, 7 — Саксаганская синклиналь, 8 — Основная синклиналь, 9 — Главный Криворожский разлом, 10 — Саксаганский надвиг, 11 — Восточный надвиг



**Кривой Рог.** Расположен на Украинском кристаллическом щите. Зона протягивается на 100 км, в ширину 6-7 км.

Возраст криворожской серии 1700-1900 млн. лет.

Что означают термины:

джеспилиты

Гондиты (браунит, гаусманит)





**Железистые кварциты (джеспилиты)  
Кривбасса.**

**Г. Кривой Рог. Выходы  
джеспилитов на берегу  
р. Саксагань.**



Этапы рудообразования

Время, млн лет

Осадочно-диагнетический

Дометаморфическое выветривание

Дометаморфическое частичное переотложение руд, коры выветривания

Региональный метаморфизм

Воздействие гранитных интрузий, локальный метасоматоз

Палеозойский гипергенез

Мезозойский, палеогеновый и неогеновый гипергенез

2000

1900-  
-1800

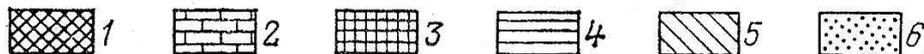
1900-  
-1800

1700

1600

500-  
-200

200-0



# История формирования метаморфогенных руд Криворожского бассейна.

По материалам. Е. Лазаренко, Я. Белевцева и др.

Типы руд: 1 — силикатные, 2 — карбонатные, 3 — магнетитовые, 4 — гематитовые, 5 — бурый железняк, 6 — с силикатами и другими минералами гидротермального изменения; стрелки — пути преобразования

# Марганцевые месторождения

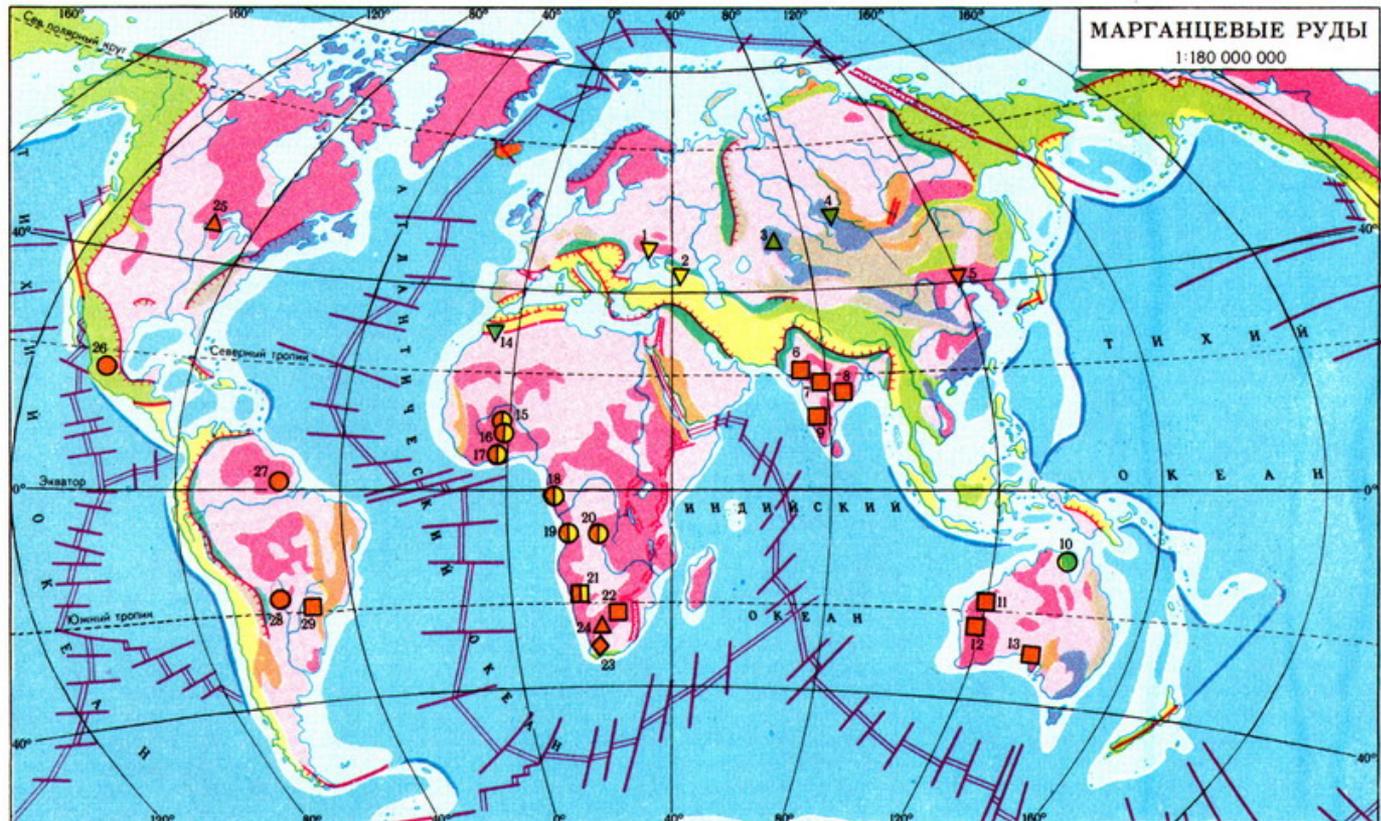
Среди метаморфизованных первично-осадочных руд выделяются 2 разновидности:

1. Месторождения, сформированные при метаморфизме первично оксидных руд
2. Месторождения, сформированные при метаморфизме опал-карбонатных Mn руд.

В первом случае при слабом метаморфизме возникают **браунит-гаусманитовые руды**, при интенсивном метаморфизме – **Mn гранаты, Mn пироксены и амфиболы (ГОНДИТОВЫЙ ТИП)**. Браунит -  $Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$ ; гаусманит -  $Mn^{2+}Mn_2^{3+}O_4$ ,

Во втором случае формируются **силикатно-карбонатные руды**. Опал исчезает, образуя **силикаты и гидросиликаты (родонит  $(Mn^{2+}, Fe^{2+}, Mg, Ca)SiO_3$ , бустамит  $(Mn, Ca)_3[Si_3O_9]$ , беменит и др.)**.

# Месторождения марганца



<p><b>Континенты и их обрамления</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #ff69b4; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Выступы фундамента древних платформ</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #fce4ec; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Чехлы древних и молодых платформ</li> </ul> <p><b>Складчатые системы</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #ffcc80; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Позднедокембрийские</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #bbdefb; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Раннепалеозойские</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #e0e0e0; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Позднепалеозойские</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #c8e6c9; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Мезозойские</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #fff9c4; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Кайнозойские</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #81c784; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Краевые прогибы</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #fff176; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Зона шельфа и континентального склона</li> </ul> <p><b>Океаны</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #b3e5fc; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Ложе океана</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #00796b; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Глубоководные желоба</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; border-bottom: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Рифтовые зоны срединно-океанических хребтов и Красного моря</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #ff9800; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Острова с корой океанического типа</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; border-bottom: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Разломы</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; border-bottom: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Крупные надвиги</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; border-bottom: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Внутриконтинентальные рифты</li> </ul>		<p><b>Генетические типы месторождений:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; border-radius: 50%; margin-right: 5px;"></span> Осадочный</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Вулканогенно-осадочный</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Метаморфизованный</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; border-radius: 50%; margin-right: 5px;"></span> Коры выветривания</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Инфильтрационный</li> </ul> <p><b>Цифрами обозначены месторождения:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Никопольское, Большетокамское</li> <li>2 Чинатурское</li> <li>3 Атасуйский район (Каражальское, Джебдинское)</li> <li>4 Усинское</li> <li>5 Вафанцзы</li> <li>6 Пани, Шивраджпур (Панч-Махал)</li> <li>7 Балагхат, Уква, Тироли, Донгри-Бузург</li> <li>8 Бхутуда, Балангир-Патна</li> <li>9 Беллари-Сандур</li> <li>10 Грут-Айленд</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>11 Район-Хилл</li> <li>12 район Пилбара</li> <li>13 Айрон-Монарк</li> <li>14 Имини</li> <li>15 Ансонго</li> <li>16 Тамбао</li> <li>17 Нсута, Земугула</li> <li>18 Мванда</li> <li>19 Китото-Кикунью, Кипонте</li> <li>20 Кизенга</li> <li>21 Очосонду</li> <li>22 Мидделвит</li> <li>23 Постмасбург</li> <li>24 Калахари-Куруман (Мидделплатс, Весселс, Хотазел, Маматван, Адамс)</li> <li>25 Кукона</li> <li>26 Моланго</li> <li>27 Серра-ду-Навиу</li> <li>28 Корумба, Морру-ду-Урукуи</li> <li>29 Морру-да-Мина, Кошуэрия</li> </ol>
--	--	--	--

Специальное содержание разработал И.М.Вареников

# Золото-урановые метаморфизованные месторождения (Витватерстранд)

Золото-урановые конгломераты относятся к достаточно редким образованиям. Помимо Витватерсранда в ЮАР известно месторождение Одентал, Эльдорадо и др. Они известны в Гане (Тарква), Габоне (Мунава), Танзании (Ассонго), Индии (Чикмагалура), Канаде (Элиот Лейк или Блайнд Ривер), Бразилии (Жакобина), Австралии (Уэстмориленд), Швеции (Вестверик).

Район урансодержащих золотоносных конгломератов протягивается на 350 км при ширине 25-100 км. Он дает около 800 тонн Au в год.

В основании залегают гранито-гнейсы и сланцы архея, на них расположены смятые в линейные складки сланцы, кварциты конгломераты и эффузивы Витватерсрандской, Вентердорпской и Трансваальской систем позднего докембрия.

Пласты рудоносных конгломератов залегают в пределах Витватерсрандской системы мощностью около 7,8 км. Основное их количество сосредоточено в верхнем отделе системы.

Рудные тела состоят из пачек конгломератов, разделенных прослоями кварцита, образующих так называемые «риффы», промышленные разновидности которых называются «банкетты». Мощность конгломератовых прослоев от нескольких см до 3 м, мощность рифов – до 50 м.

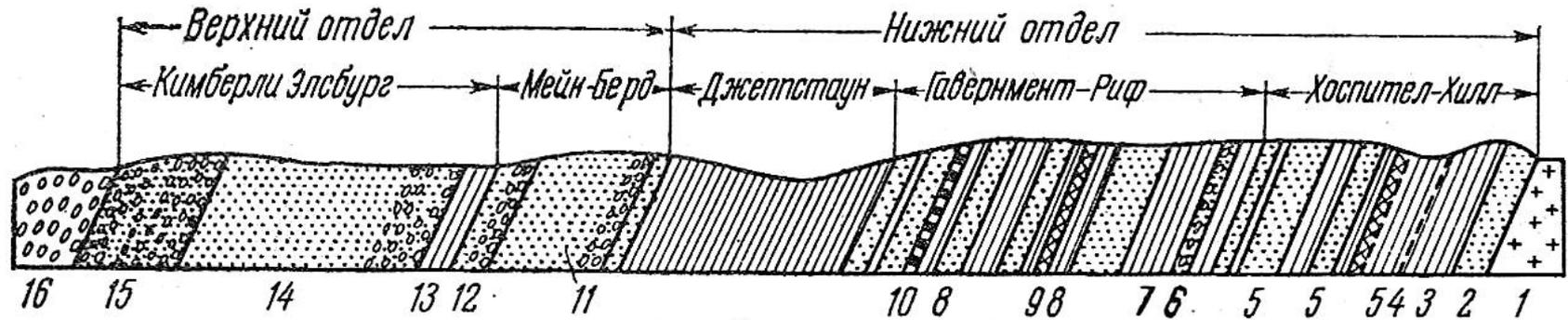


Рис. 112. Разрез месторождения Витватерсранд в Центральном Ранде. По У. Меллору.

1 — древние граниты; 2 — кварциты Орандж-Грав; 3 — сланцы свиты Хоспител-Хилл; 4 — Контортед-Бед (смятый слой); 5 — кварциты свиты Хоспител-Хилл; 6 — конгломерат (риф) Гавермент; 7 — слои Промайз; 8 — слои Коронешен; 9 — сланцы Западного Ранда; 10 — конгломерат Прометей; 11 — конгломерат (риф) Мейн; 12 — конгломераты (риффы) Берд; 13 — сланцы Кимберли; 14 — конгломераты (риффы) Кимберли; 15 — конгломераты (риффы) Эльсбург; 16 — вентерсдорпские мандельштейны

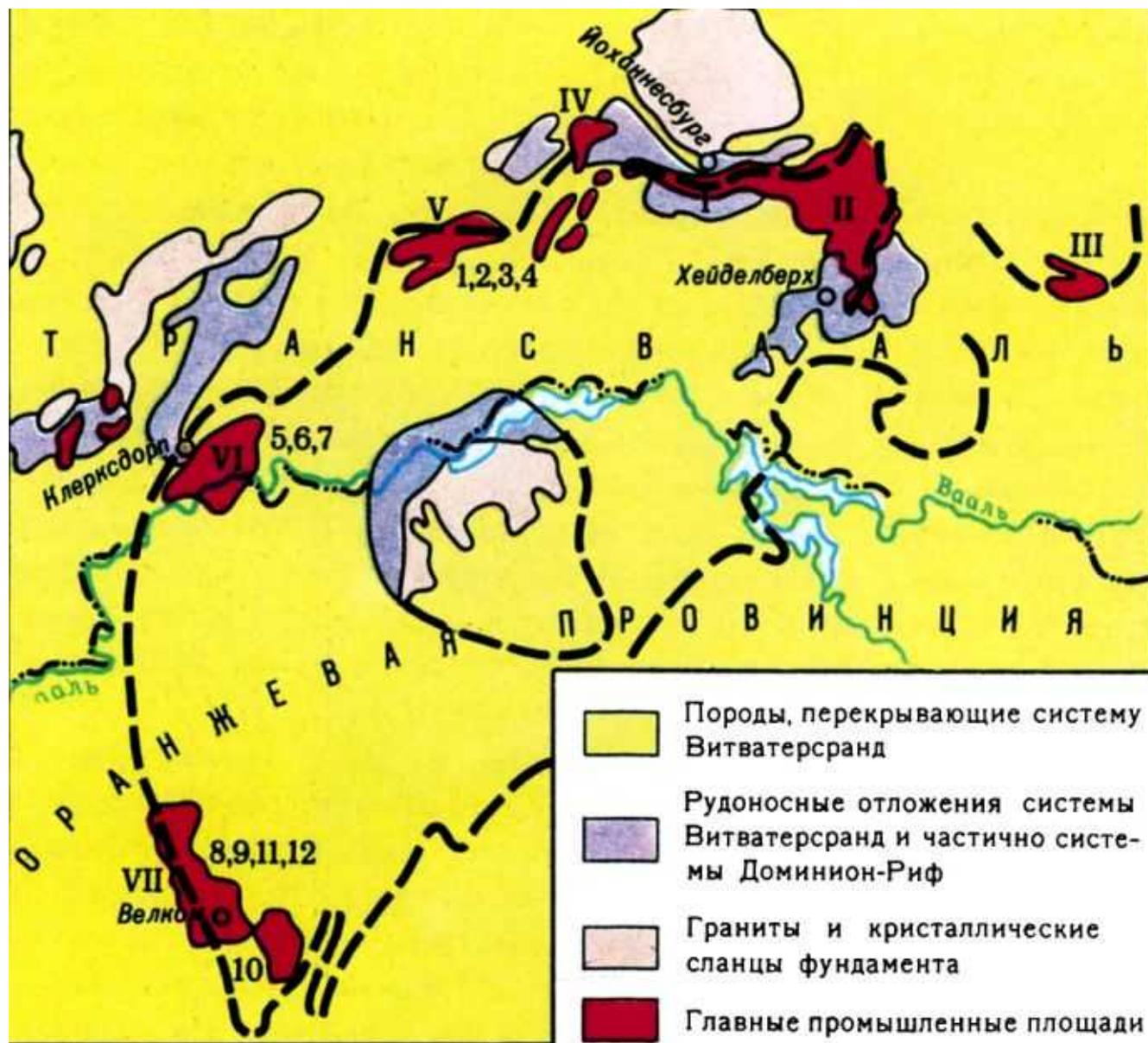
# ВИТВАТЕРСРАНД

Главные промышленные площади:

- I Центральный Ранд
- II Восточный Ранд
- III Эвандер
- IV Западный Ранд
- V Дальний Западный Ранд
- VI Клерксдорп
- VII Рудные поля Оранжевой провинции

Крупные рудники:

- 1 Уэст-Дрифонтейн
- 2 Ист-Дрифонтейн
- 3 Уэстерн-Дип
- 4 Клупф
- 5 Вааль-Риф
- 6 Хартбисфонтейн
- 7 Буффелсфонтейн
- 8 Фри-Стейт-Гедюлд
- 9 Уэстерн-Холдингс
- 10 Хармони
- 11 Президент-Бранд
- 12 Президент-Стейн



Породы, перекрывающие систему Витватерсранд

Рудоносные отложения системы Витватерсранд и частично системы Доминион-Риф

Граниты и кристаллические сланцы фундамента

Главные промышленные площади

Границы Верхне-Витватерсрандского бассейна

Специальное содержание разработал  
С.Д. Шер

# Витватерсранд

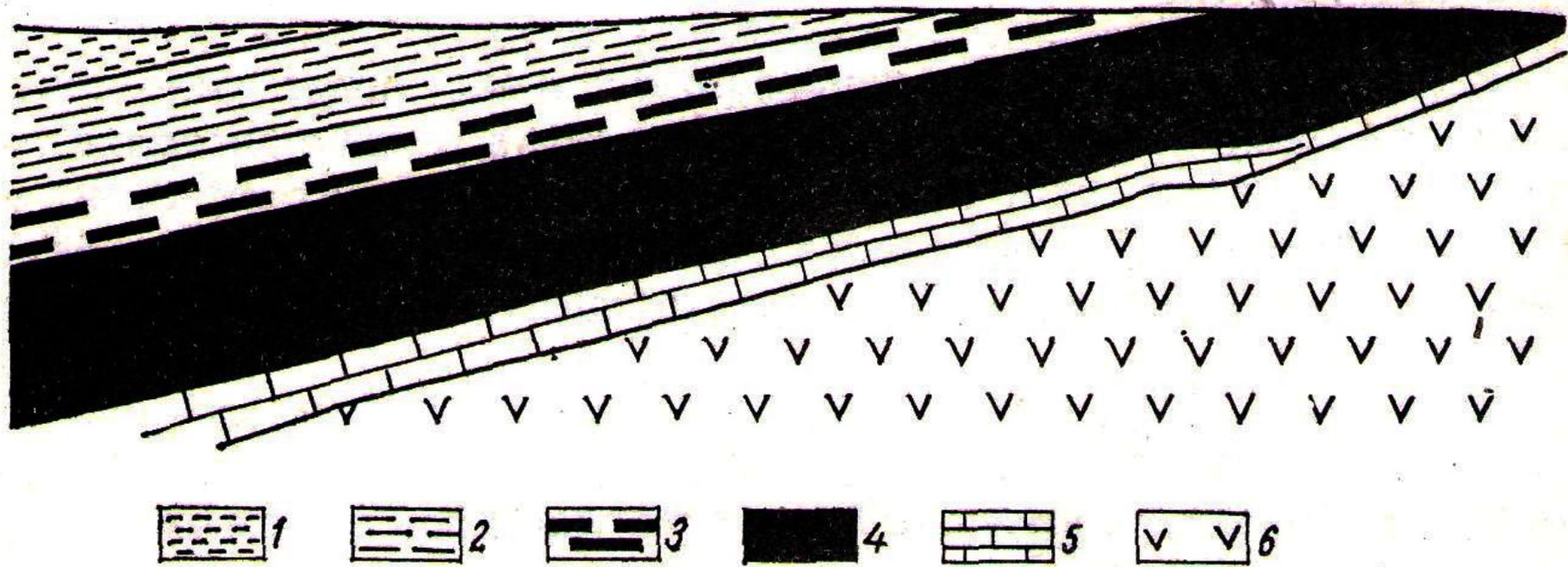


Золото-платиноносный конгломерат с пиритовыми гальками. Витватерсранд



Витватерсранд, или просто Ранд («хребет») известен тем, что из его недр извлечено **48 000 тонн золота**, или примерно 40 % всего золота, когда-либо добытого человечеством. Кроме того, в Витватерсранде есть залежи урана. Добыча золота началась в этом районе в 1880-е годы. Многие из старых шахт уже закрылись, однако золотодобыча продолжается. **Ресурсы золота оцениваются в 16 тыс тонн при среднем содержании около 9 г/т**

# Контактово метаморфические месторождения



Схематический геологический разрез Курейского месторождения графитов:

1 — песчаники верхнего карбона; 2 — сланцы и кварциты; 3 — графитовые сланцы; 4 — графит, образовавшийся по пласту угля; 5 — карбонатные породы; 6 — диабазовые порфириты

# Апофиза Сыркашевского силла в угольном пласте

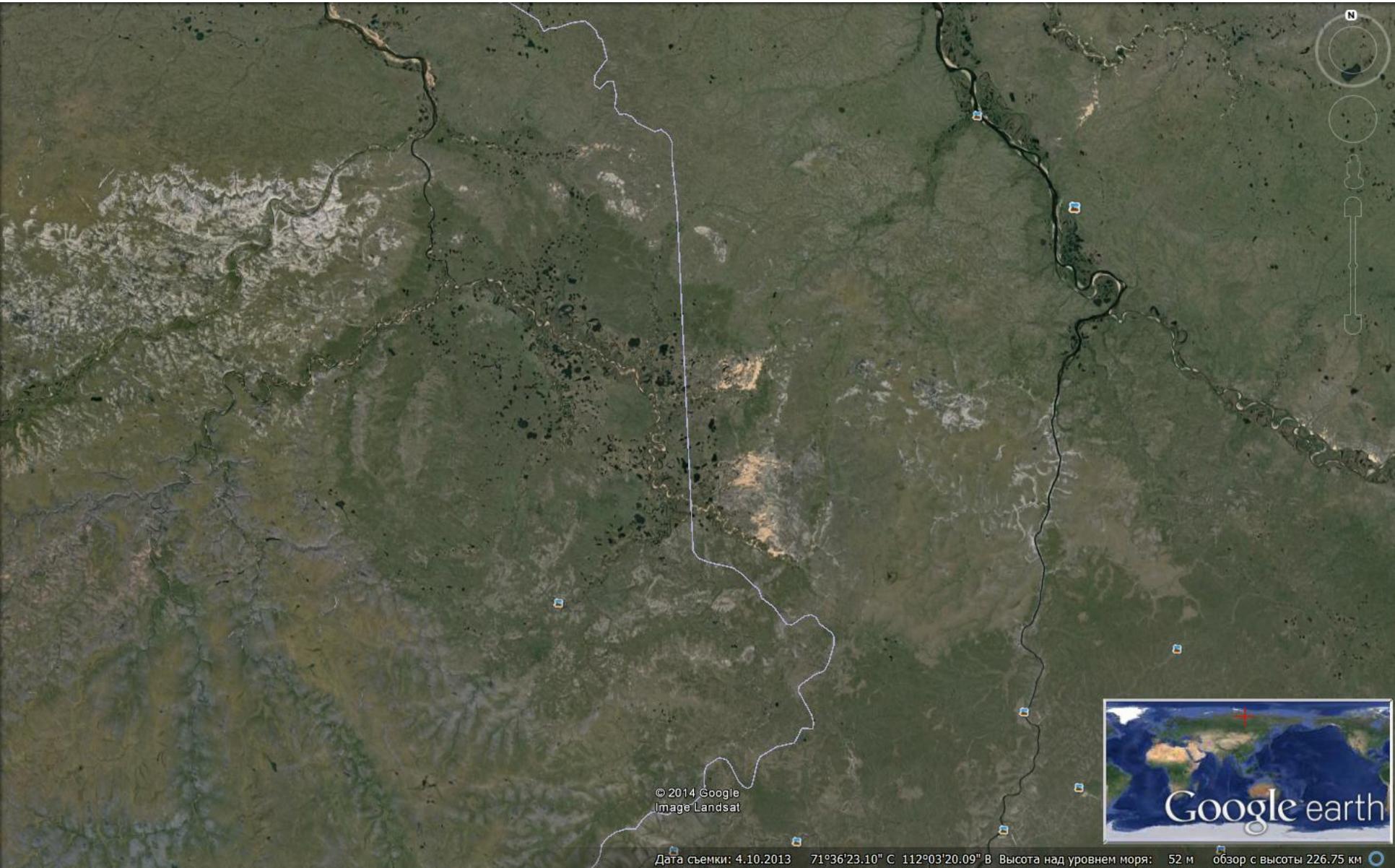


# Другие месторождения

Месторождения алмазов (Попигайская астроблема).

Тонкие алмазы, колоссальные ресурсы (около 147 млрд карат).





© 2014 Google  
Image Landsat

Дата съемки: 4.10.2013 71°36'23.10" С 112°03'20.09" В Высота над уровнем моря: 52 м обзор с высоты 226.75 км

**Рассекречено крупное месторождение сверхтвердых алмазов, которые вдвое тверже обычных. Заявление на этот счет сделали новосибирские ученые института геологии и минералогии Сибирского отделения РАН, передает ИТАР-ТАСС**

Месторождение находится на границе Красноярского края и Якутии в районе Попигайской астроблемы — стокилометрового метеоритного кратера, образовавшегося 35 миллионов лет назад.

В 1970-х советские геологи обнаружили там первые особо твердые «алмазы» — импактиты с необычными свойствами. Они были в два раза тверже обычных и имели иную структуру. Но в связи с тем, что правительство в те годы сделало ставку на строительство заводов по производству синтетических алмазов, изучение их прекратилось, а данные о месторождении были засекречены. После снятия грифа секретности геологи смогли вернуться к изучению этого минерала. А изменившиеся потребности экономики сделали алмазы-импактиты крайне востребованным материалом из-за своих необычных свойств.

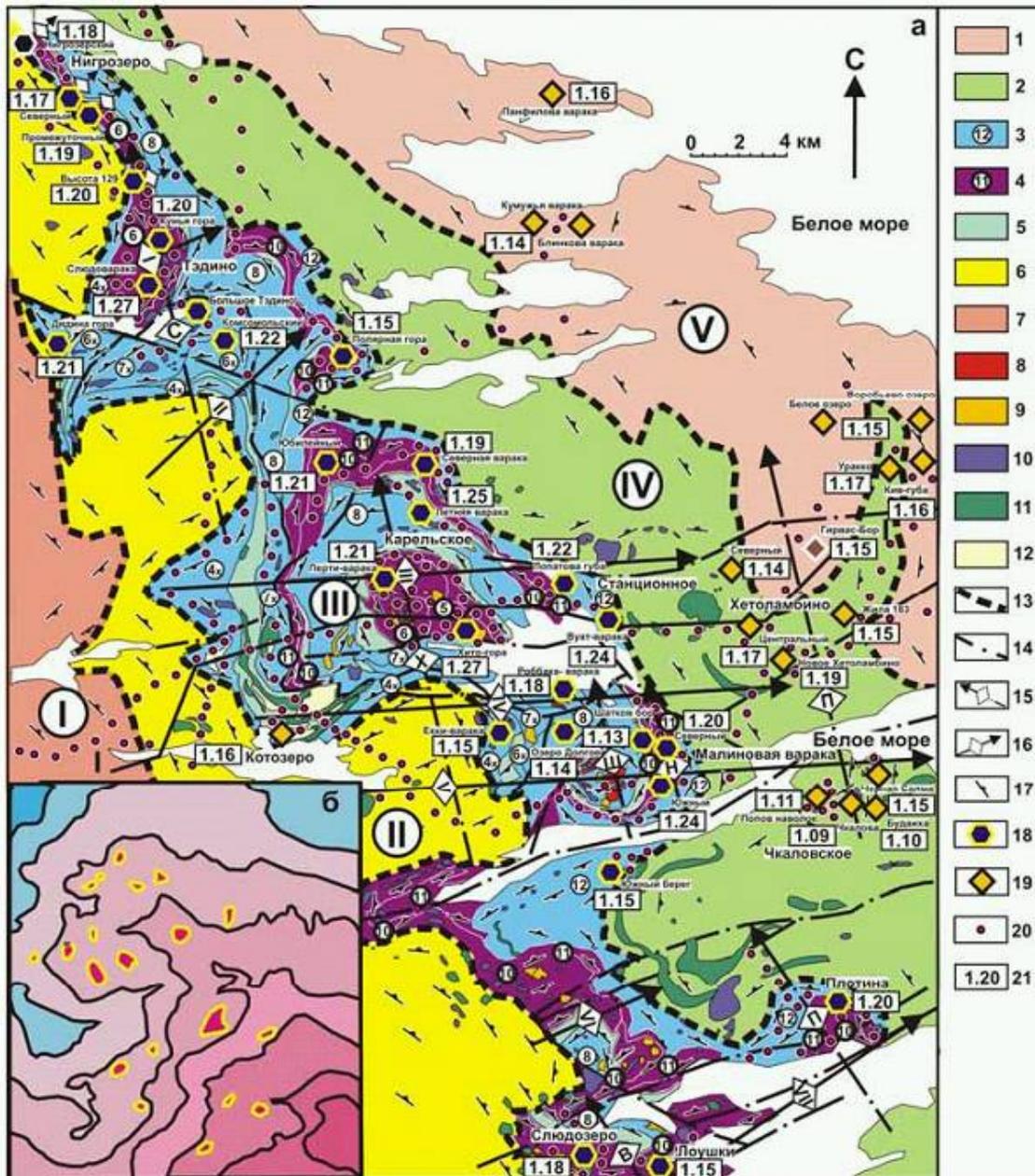
Как говорит директор Института геологии и минералогии СО РАН академик Николай Похиленко, «уже первые результаты исследований оказались достаточными, чтобы говорить о возможном перевороте во всем мировом алмазном рынке». «Ресурсы супертвердых алмазов, содержащиеся в породах Попигайской астроблемы, на порядок превышают все разведанные мировые запасы. Речь идет о **триллионах карат**, для сравнения — сегодня разведанные запасы месторождений Якутии оценивают в миллиард карат», — утверждает он.

Заместитель директора института «Якутнипромалмаз» Геннадий Никитин предостерегает: «Попигайские алмазы могут перевернуть все, и что тогда будет с ценами на этом рынке — непонятно». По словам академика Похиленко, «ценность импактным алмазам добавляют необычные абразивные свойства и большие размеры зерен». «Это значительно расширяет сферу их промышленного применения и делает их более ценными для промышленных целей», — поясняет он. Кроме того, нигде более в мире импактиты с такими свойствами до сих пор не обнаружены. По расчетам ученых, запасов этого сырья «хватит всему миру на 3 тысячи лет». Применение этих минералов в обрабатывающей промышленности способно произвести техническую революцию.

# Пегматиты

Схема геологического строения (а), гравитационного поля (б) Чупино-Лоухского слюдоносного района [Лобанов и др., 1982].

Беломорский комплекс (архей): 1 - керетская свита - биотитовые гнейсы, 2 - хетоламбинская свита - амфибол- биотитовые гнейсы и амфиболиты; 3-5 - чупинская свита (гнейсы и номера горизонтов в кружках): 3 - гранат- биотитовые и биотитовые (12, 8, 7х, 6х, 4х - перспективные), 4 - кианит-гранатовые-биотитовые и гранат-биотитовые (11, 10, 6, 5 - продуктивные), 5 - биотитовые и амфибол-биотитовые (9, 7, 5х, 3х); 6 - биотитовые и амфибол-биотитовые гнейсы котозерской свиты; 7 - гранитогнейсы западной свиты; 8 -граниты; 9 - аплиты; 10 - основные-ультраосновные интрузии; 11- амфиболиты; 12 - анортозиты; 13 - границы свит; 14 - разломы; 15-16 - оси антиклиналей: 15 - северо-западных; 16 - северо-восточных; 17 - залегание сланцеватости; **18-19 - месторождения и кусты жил пегматитов: 18 - мусковитовых; 19 - керамических;** 20 - места отбора ориентированные образцы, 21 - средние значения  $KAVr$  для глиноземистых гнейсов продуктивных горизонтов на пегматитовых участках..





***Шунгит – уникальный природный материал. Он необычен по происхождению, структуре входящего в их состав углерода и структуре самих пород.***

**Шунгитовый углерод – это окаменевшая древнейшая нефть, или аморфный, некристаллизирующийся, фуллереноподобный (т.е. содержащий определённые регулярные структуры) углерод. Его содержание в породе около 30%, а 70% составляют силикатные минералы – кварц, слюды. Кроме углерода в состав шунгита входят также  $\text{SiO}_2$  (57,0%),  $\text{TiO}_2$  (0,2%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (4,0%),  $\text{FeO}$  (2,5%),  $\text{MgO}$  (1,2%),  $\text{K}_2\text{O}$  (1,5%),  $\text{S}$  (1,2%).**

Шунгит получил своё название в 1887 году от посёлка Шуньга в Карелии, расположенном на берегу Онежского озера. Планировалось использовать шунгит как противогарное покрытие при производстве чугуна, как шихту при выплавке ферросплавов, карбида, как наполнитель резины.

# Другие месторождения

Кианитовые и силлиманитовые месторождения

Месторождения граната

Месторождения алмазов (Кумдыкульское месторождение технических алмазов)

## **Основные типы метаморфогенных месторождений:**

**Железистые кварциты** (районы Курской Магнитной Аномалии в России, Кривого Рога на Украине, Минас-Жерайс в Бразилии и др.);

**Древние металлоносные конгломераты** (район Витватерсранд в ЮАР, Жакобина в Бразилии, Блайнд Ривер в Канаде);

полиметаллические (Брокен Хилл в Австралии и Фалун в Швеции);

**Мусковитовые и керамические пегматиты** (Мамское-Чуйский район на Алдане, Карелия и др. в России);

**Хризотил-асбестовые в ультрамафитах** (Баженовское Урал); **Кианит-силлиманит-андалузитовые** (Китойское в Восточном Саяне);

**Корунд-силлиманитовые** (Южная Якутия);

**Графитовые** (Завальевское на Украине, Курейское, Ногинское, Ботогольское в России, объекты в Шри-Ланке, на Мадагаскаре и др.);

**Художественные и цветные яшмы** (г. Полковник на Урале и др.);

**Кварциты** (Шокшинское в Карелии);

**Шунгиты** (Московское в Карелии);

**Родонит** (Нсута в Западной Африке, объекты в Приаргунье в Забайкалье и пр.).