

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра региональной геологии и полезных ископаемых

**ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ БАРИТОВЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ИХ РУДЫ**

Учебно-методическое пособие

Казань, 2026

УДК 553.3/.4:553.6

ББК 26.34

*Рекомендовано к изданию
Учебно-методической комиссией ИГиНГТ
Протокол №6 от 17 февраля 2026 года*

Рецензент:

Доктор геолого-минералогических наук **Б.В. Успенский**
Кандидат геолого-минералогических наук **А.Г. Николаев**

Геолого-промышленные типы баритовых месторождений и их руды: учебно-методическое пособие / И.П. Егорова, Л.Х. Галиахметова, Л.М. Ситдикова, Е.Ю. Сидорова // Казань: Казанский федеральный университет, 2026. – 70 с.

В учебно-методическом пособии рассмотрена геология, генезис и промышленное значение месторождений барита. Систематизированы основные геолого-промышленные и природные типы баритового оруденения, детально охарактеризованы вещественный состав, структурно-текстурные особенности руд, типовые месторождения баритовых руд.

Настоящее пособие разработано для студентов геологических специальностей, обучающихся по направлениям 05.03.01 Геология и 05.04.01 Геология (Геология месторождений полезных ископаемых). Оно предназначено для закрепления теоретических знаний по дисциплинам «Геология полезных ископаемых» и «Метаморфизм, метасоматизм и рудообразование». Пособие может быть использовано как для аудиторной работы на практических занятиях, так и для самостоятельной подготовки студентов, а также при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ.

УДК 553.3/.4:553.6

ББК 26.34

©Егорова И.П., Галиахметова Л.Х., Ситдикова Л.М., Сидорова Е.Ю., 2026

© Казанский университет, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАРИТОВОГО СЫРЬЯ.....	5
2. ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БАРИТА	8
3. ХАРАКТЕРИСТИКА РУД БАРИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	15
3.1. Вещественный состав баритовых руд.....	15
3.2. Структурно-текстурные особенности баритовых руд.....	16
3.3. Природные типы баритовых руд.....	30
4. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ БАРИТОВЫХ РУД ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ КАЧЕСТВА	35
4.1. Полевое изучение баритовых руд.....	35
4.2. Лабораторное изучение баритовых руд комплексом аналитических методов.....	39
5. ТИПОМОРФНЫЕ СВОЙСТВА БАРИТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ТИПА БАРИТОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ	46
6. ПРИМЕРЫ ТИПОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БАРИТОВЫХ РУД.....	49
ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	60
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ.....	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	64
РЕКОМЕНДУЕМЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	65
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	67

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее пособие разработано для студентов геологических специальностей, обучающихся по направлениям 05.03.01 Геология и 05.04.01 Геология (Геология месторождений полезных ископаемых). Оно предназначено для закрепления теоретических знаний по дисциплинам «Геология полезных ископаемых» и «Метаморфизм, метасоматизм и рудообразование». Пособие может быть использовано как для аудиторной работы на практических занятиях, так и для самостоятельной подготовки студентов, а также при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ.

Актуальность изучения геологии баритовых месторождений связана с широкой областью применения барита, который используется более чем в 2000 видах производственных процессов в различных отраслях народного хозяйства. Уникальное сочетание физико-химических свойств барита (высокая плотность, химическая инертность, радиационная стойкость) обусловило его незаменимость в качестве утяжелителя буровых растворов в нефтегазодобыче, компонента радиационной защиты, а также сырья для химической, медицинской, лакокрасочной и многих других отраслей промышленности.

Целью данного пособия является формирование у студентов целостной системы знаний о барите как о промышленном минерале и о геологических закономерностях формирования его месторождений.

Главный промышленный бариевый минерал – барит – формирует самостоятельные месторождения в результате сложных геологических процессов и будучи наиболее распространенным безводным сульфатом после ангидрита, служит не только важным полезным ископаемым, но и индикатором палеогидротермальных процессов. Его изучение позволяет углубить понимание механизмов метасоматоза и осадочно-гидротермального рудообразования. Вариации типоморфных особенностей барита являются важнейшими индикаторами условий формирования не только баритовых, но и многих комплексных месторождений.

В учебном процессе данное пособие может служить основой для изучения баритового оруденения как частного случая эндогенных и экзогенных месторождений, позволяя проводить сравнительный анализ с месторождениями других полезных ископаемых. Материалы пособия позволяют связать в единую систему знания, получаемые в рамках таких дисциплин как минералогия, петрография, петрология, структурная геология, что способствует выработке комплексного подхода к изучению месторождений.

1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАРИТОВОГО СЫРЬЯ

Барит используется в трех направлениях: 1) в качестве утяжелителя, 2) инертного и слабоактивного наполнителя и 3) исходного сырья в производстве бариевых соединений (рис. 1).

Как утяжелитель барит используется в основном в нефтяной и газовой промышленности для придания необходимой плотности буровым раствором при бурении скважин, для предотвращения газовых выбросов и придания устойчивости ствола скважин.

Как наполнитель барит применяется в:

- лакокрасочной промышленности для производства белых, цветных, силикатно-защитных и типографских красок, так как барит обладает такими свойствами, как высокая белизна, способность к окрашиванию, химическая инертность;
- резиновой промышленности при производстве жестких сортов резины и резиновых изделий, используемых для работы с рентгеновскими лучами;
- бумажной промышленности при производстве специальных сортов бумаги;
- стекольной промышленности для гомогенизации стекломассы и придания стеклу особого блеска;
- производстве прозрачных и бесцветных пластмасс (полиметилакрилат, полистирол, поликарбонат и др.), искусственного мрамора, сургуча, мыла, некоторых асбесто - технических изделий;
- керамике для получения беложгущихся изделий, кафельных плиток, тяжелых глиняных изделий и др.;
- цементной промышленности для производства гидравлического бариевого цемента, устойчивого в агрессивных средах;
- строительной промышленности при прокладке трубопроводов в заболоченных местах и под водой, в фундаментах тяжеловесных конструкций, а также дорожном строительстве для верхних покрытий дорожек в аэропортах и обычных дорогах с целью получения прочного и одновременно гибкого слоя;
- ядерной промышленности для экранирования стационарных ядерных реакторов;
- металлургии при плавке желтой меди в качестве флюса;
- медицине при изготовлении контрастных масс, применяемых при просвечивании желудочно-кишечного тракта человека и животных.

В химической промышленности барит используется преимущественно для производства различных барий-содержащих соединений, основными из которых являются углекислый барий (BaCO_3), хлористый барий (BaCl_2), азотнокислый барий ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$), гидрат окиси бария ($\text{Ba}(\text{OH})_2$) и ряд других соединений.

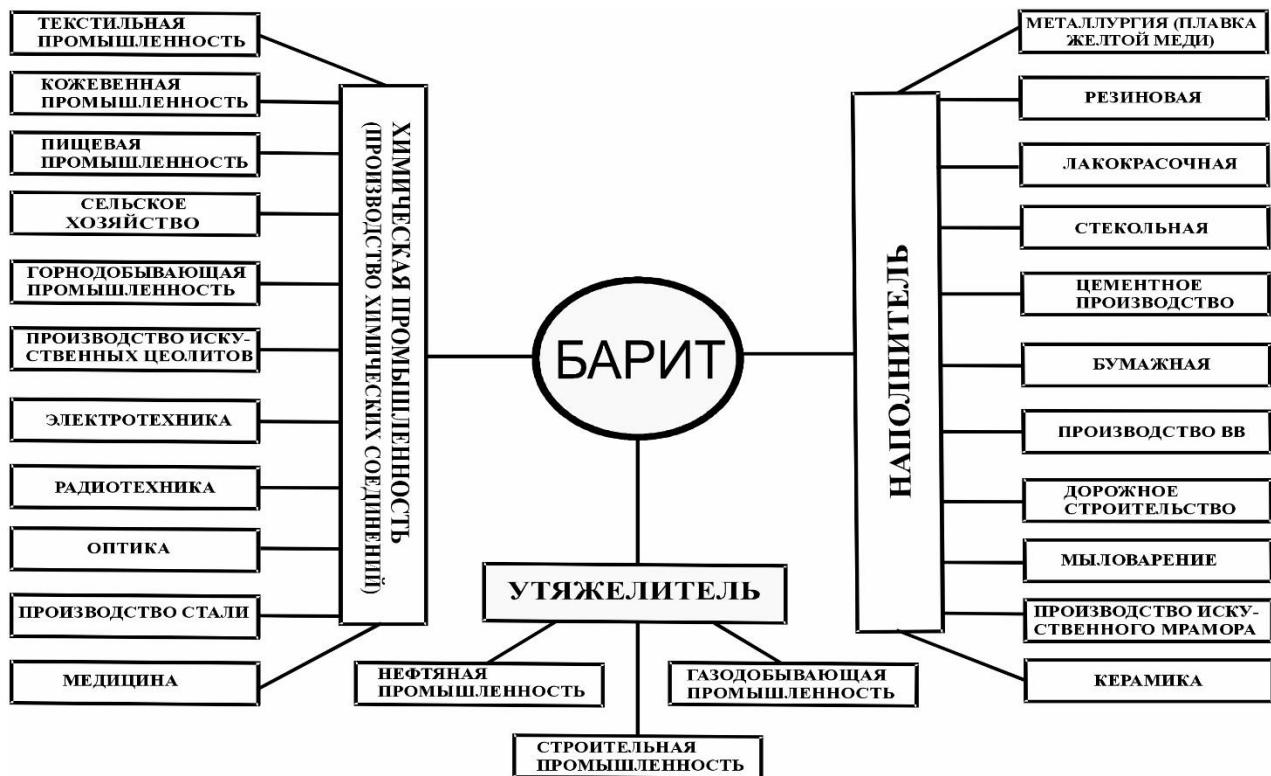


Рис. 1. Применение барита в промышленности [1]

Полученные на основе барита барий-содержащие соединения используются в следующих отраслях промышленности:

- сельском хозяйстве в качестве инсектицида;
- в производстве искусственных цеолитов для смягчения воды;
- текстильной промышленности для придания жароустойчивых и водонепроницаемых свойств тканям;
- кожевенной промышленности для упрочения кожи;
- сталелитейном деле в качестве карбюризатора для цементации стали;
- в производстве щелочно-известковых и оптических стекол;
- при изготовлении перманентно действующих магнитов для трансформаторов, динамомашин, моторов;
- в электропечах для получения более спокойной и ровной вольтовой дуги, а также уменьшения вязкости шлаков;
- сахарной промышленности для извлечения сахара из черной патоки;
- радиотехнике и электротехнике;

- в медицине при производстве медикаментов, витаминов, гормонов и коагулянтов крови;
- в производстве люминофоров для флуоресцентных ламп;
- в производстве реагентов, применяемых при обогащении руд;
- в сварочных флюсах, при плавлении и очистке магния, восстановлении индия, извлечении цинка из дросса [2, 3].

2. ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БАРИТА

Промышленностью разрабатываются месторождения барита, подразделяемые по генетическим признакам на: гидротермальные (гидротермально-метасоматические), осадочные (гидротермально-осадочные), выветривания (остаточные); по морфологии на: жильные, пластовые, россыпные; в зависимости от соотношения полезных компонентов на: собственно-баритовые и комплексные [2].

К *собственно-баритовым* относятся месторождения, в которых барит является единственным полезным компонентом.

К *комплексным баритовым* месторождениям относятся месторождения, из которых барит извлекается попутно. Среди комплексных барит-содержащих месторождений выделяются флюорит-баритовые, редкометалльно-барит-флюорит-железородные, сульфидно-баритовые месторождения.

В группе *собственно-баритовых* месторождений выделяются три геолого-промышленных типа: стратиформный в кремнисто-сланцевых толщах, жильный и остаточный (выветривания) (рис. 2, табл. 1).

Стратиформные баритовые месторождения в кремнисто-сланцевых толщах составляют основу сырьевой базы в странах – ведущих продуцентах барита (Индия, Китай, США), в отдельных странах обеспечивая до 80% добычи (США). В них заключено свыше 60% мировых запасов барита.

Месторождения этого типа представляют собой стратифицированные залежи значительных размеров: по простиранию до 2000 м, по падению до 500 м, мощность 3-15 м. Они, как правило, обладают значительными запасами. Простой вещественный состав руд позволяет использовать экологичные методы их обогащения, простая морфология рудных тел обуславливает высокую рентабельность их отработки.

Стратиформные месторождения связаны с доорогенными комплексами разновозрастных геосинклинально-складчатых областей, где в составе рудовмещающих сланцевых формаций значительную роль играют кремнистые образования. Наиболее продуктивными в составе рудовмещающих комплексов обычно являются горизонты, сложенные переслаивающимися углеродистыми кремнисто-глинистыми и глинисто-кремнистыми породами.

Геолого-промышленные типы баритовых месторождений [2]

Геолого-промышленные типы. Примеры месторождений	Генетический тип оруденения (а), рудная формация (б), основные минерально-промышленные типы руд (в)	Среднее содержание BaSO_4 в руде (%)	Форма и размеры рудных тел	Тектоническая (палеотектоническая) позиция (а), рудовмещающая формация (б)
1. Стратиформный в кремнисто-сланцевых комплексах Толчеинское, Кутень-Булукское, Хойлинское, Пальникское (Россия), Чиганакское (Казахстан), Магнет-Ков, месторождения штатов Невада, Вашингтон (США), Норт-Пол (Австралия), Баритовая долина (ЮАР).	а) гидротермально-осадочный; б) монобаритовая; в) баритовый, кварц - баритовый, кальцит - баритовый	40-80	Пластовые и линзовидные залежи. Размеры по простиранию до 2 км, по падению до 500м, средняя мощность 3 – 15 м	а) морфоструктуры пассивных континентальных окраин и микроконтинентов: области внешнего шельфа, континентального склона, подножия; б) кремнисто-карбонатная, кремнисто-терригенная (фтанитовая), терригенно-кремнистая.
2. Жильный Белореченское, Топган-Туразы (Россия), Чордское (Грузия), месторождения Алжира, Греции, штатов Иллинойс-Кентукки (США)	а) гидротермальный; б) барит- полиметаллическая; в) баритовый, кальцит- баритовый, кварц- баритовый, кальцит-баритовый сульфидсодержащий, флюорит-баритовый	70 и более	Жильные тела, зоны брекчирования, рудные столбы. Размеры по простиранию – десятки, сотни метров, по падению до 50 – 100 м, мощность – десятки см, первые метры, в раздувах – до 15 м	а) зоны глубинных разломов, разделяющие разновозрастные жесткие блоки земной коры и структуры активизации; б) интрузивные (преимущественно кислого состава); вулканогенные (преимущественно основного состава) и метаморфические (высокой степени метаморфизма) комплексы, прослои пород высокой степени компетентности в вулканогенно-осадочных и осадочных формациях
3. Остаточный (выветривания) Медведевское (Россия), Хатын-Камал (Казахстан), месторождения штатов Миссури, Джорджия (США)	а) выветривания (остаточный); б) бурожелезняково-баритовая; в) определяется составом субстрата	12-20, редко более 50	Плащеобразные залежи, карстовые полости зависят от формы и размеров первичных рудных тел. Мощность перекрывающих отложений до 40 м	а) поверхности выравнивания в пределах складчатых областей (платформенный режим, континентальные условия); б) субстрат, карбонатная, терригенно-карбонатная

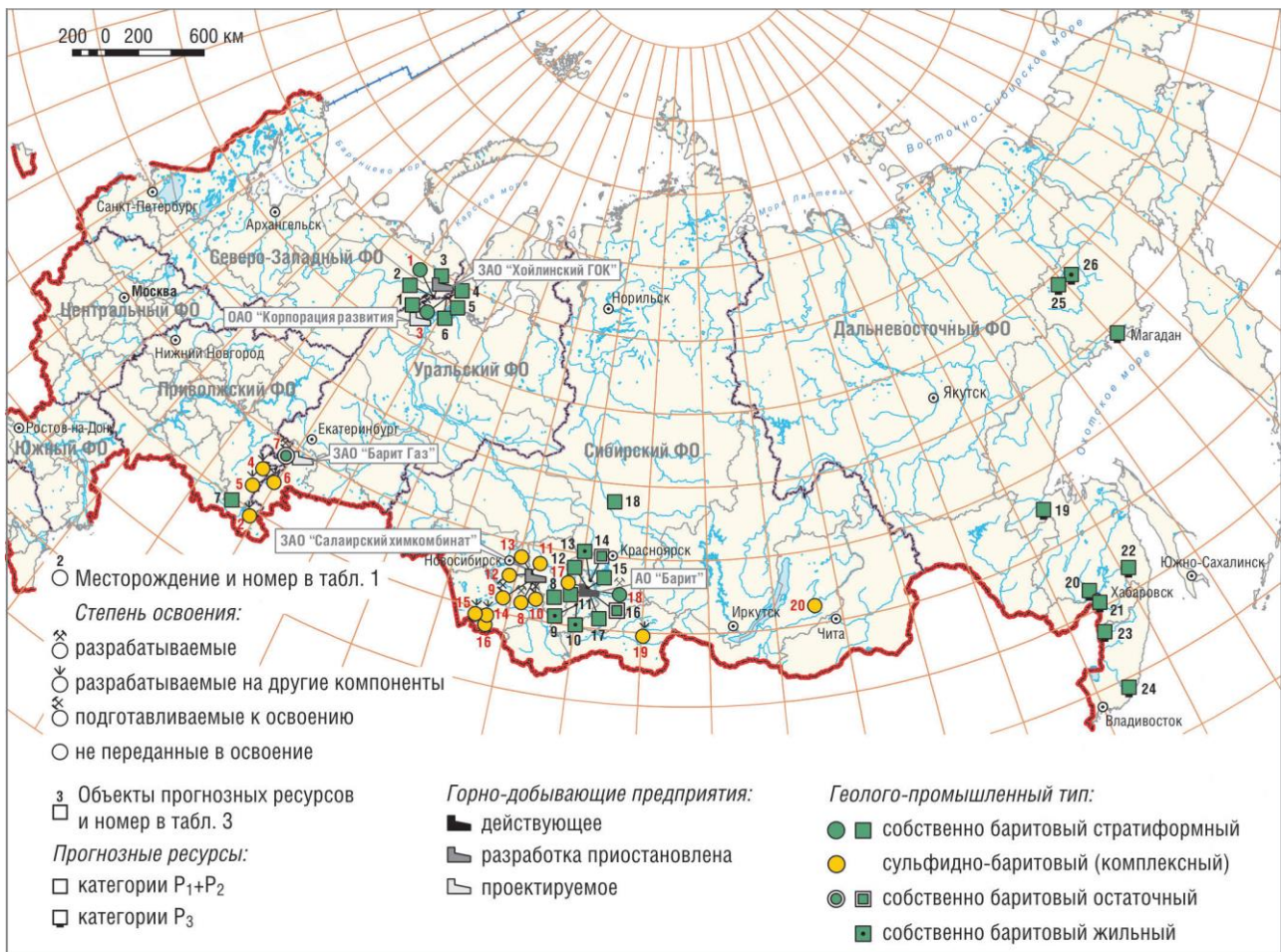


Рис. 2. Минерально-сырьевая база барита Российской Федерации (по состоянию на 2016г.) (Ахманов и др., 2017) с указанием геолого-промышленных типов

Месторождения образуются в позднеокеаническую или переходную стадию развития земной коры подвижных зон в пределах пассивных континентальных окраин (области континентального склона и подножия), на относительно стабильных массивах с мощным карбонатным чехлом (так называемые карбонатные платформы). По условиям рудоотложения они относятся к гидротермально-осадочному типу месторождений.

Наиболее широко распространены в природе *жильные* месторождения. В ряде стран они являются единственным источником барита. Рудные тела месторождений жильного типа образуются из средне-низкотемпературных гидротермальных (или метаморфогенных) растворов и, как правило, контролируются зонами разрывных нарушений; часто приурочены к плоскостям напластования пород различной компетенции. Барит нередко является цементирующим материалом в брекчиях, а также выполняет структуры растворения и выщелачивания в карбонатных комплексах. Вмещающими для жильных месторождений барита служат изверженные, метаморфические и осадочные породы самого различного возраста. Рудные тела жильных месторождений, как правило, имеют

четкие контакты с вмещающими породами, процессы замещения выражены очень слабо. В рудах месторождений этого типа практически всегда присутствуют кальцит, кварц, сульфиды железа, меди, свинца, цинка и другие минералы. Количество их определяет качество руды, обуславливая рентабельность отработки. В целом для месторождений жильного типа характерны руды высокого качества. Большая часть месторождений относится к классу мелких, редко средних и крупных, и характеризуется относительно сложной морфологией рудных тел. В месторождениях этого типа заключено около 38 % мировых запасов.

Среди баритовых месторождений *выветривания* выделяются: остаточные и россыпные [4]. Первые образуются при интенсивном воздействии химических процессов, вторые – в результате механического разрушения баритовых руд и барит-содержащих пород.

Остаточные месторождения формируются вследствие растворения и выноса приповерхностными водами вмещающей барит массы горных пород и концентрации в остатке самого барита. Для их образования необходимы: обстановка относительного тектонического покоя и благоприятный климат, сохраняющиеся на протяжении длительного времени и способствующие глубокому химическому преобразованию пород и формированию кор выветривания.

Формирование *россыпных* месторождений происходит при участии денудационных процессов в благоприятных тектоно-геоморфологических и физико-географических условиях. Среди россыпных месторождений выделяются: элювиальные, делювиальные и карстовые россыпи.

Элювиальные россыпи представлены конечными продуктами выветривания коренных источников. Они обычно образуют маломощные залежи над баритовыми телами, сложены дресвяно-щебенчато-глыбовым материалом коренных пород с примесью разного количества суглинка, супеси, песка. Барит заключен в обломках горных пород или в сростках с другими минералами.

Делювиальные россыпи образуются на склонах с преобладанием плоскостного смыва. В формировании их существенную роль играет сортировка обломочного материала в процессе перемещения его по склону. В условиях дифференцированного смещения делювия по склону происходит разделение обломков пород и минералов по вертикали с накоплением барита (как наиболее тяжелого) в нижней части делювия.

Карстовые россыпи локализованы в карстовых формах рельефа. В отличие от элювиальных россыпей они имеют пространственную и временную связь

с корами выветривания и зонами размыва подстилающих и вмещающих карбонатных пород. Легкая растворимость известняков, вмещающих месторождения, обуславливает накопление барита *in situ*. Тем самым по условиям образования карстовые россыпи приближаются к месторождениям остаточного типа.

В группе **сульфидно-баритовых** месторождений выделяются также три геолого-промышленных типа: свинцово-цинковый (с баритом) стратиформный в карбонатных толщах, или миргалимсайский тип, колчеданно-полиметаллический в терригенно-карбонатных и карбонатно-кремнистых толщах, или атасуйский тип, и колчеданно-полиметаллический в осадочно-вулканогенных формациях. Приоритет в добыче барита принадлежит месторождениям *атасуйского* и *миргалимсайского* типов.

Для названных типов месторождений характерно размещение в геосинклинальных прогибах, возникших на этапах активизации консолидированных структур со сформировавшейся континентальной корой; часто наблюдаемое пространственное совмещение железо-марганцевого и полиметаллического оруденения с баритовым; формирование в узком возрастном интервале (от фамена до турне). Вмещающими породами служат черные доломиты, углистые известковистые алевролиты, пелитолиты, известняки, углистые тонко-ритмично-слоистые глинисто-кремнисто-карбонатные породы.

В месторождениях нередко встречаются обособленные рудные тела существенно-баритовых руд, которые представляют собой фации единого барит-сульфидного оруденения.

Масштабы баритовых тел, их удаленность от основной массы сульфидных руд порой бывают столь значительны, что они принимаются за месторождения, имеющие самостоятельное промышленное значение (рудопроявления Ансай в рудном поле Миргалимсайского барит-сульфидного месторождения, Жуманай – в Атасуйском рудном районе и др.). Для месторождений характерны согласные линзо- и пластообразные залежи, реже столбообразные тела и зоны прожилкования. Размеры рудных тел по простиранию – первые км, по падению – сотни метров при мощности от единиц до десятков метров.

Для большей части месторождений характерно зональное строение рудных залежей. Как правило, центральная часть рудного тела сложена баритовыми рудами, которые к периферии сменяются комплексными свинцово-баритовыми, свинцово-цинковыми и цинковыми.

Содержание барита в рудах 5-70%. Последнее характерно для баритовых тел, сложенных, как правило, кремнисто-баритовыми и карбонатно-баритовыми

рудами. Комплексные руды содержат барит в количествах 5-30%, очень редко до 40%.

Колчеданно-полиметаллические месторождения в осадочно-вулканогенных толщах находятся в ассоциации с формациями ранней стадии развития островных дуг. В строении толщ, вмещающих месторождения, принимают участие терригенные, кремнисто-терригенные и карбонатные отложения, часто подчиненные по объему вулканитам.

В структурно-тектоническом плане колчеданные месторождения обычно приурочены к линейным зонам смятия и расщепления, они контролируются доскладчатыми структурами, по возрасту близкими к рудообразованию, либо подводными вулканическими постройками купольного типа.

Крупные месторождения обычно приурочены к участкам сочленения разнонаправленных дорудных нарушений в сочетании с благоприятными в литологическом отношении экранирующими породами. Повторяемость в разрезе благоприятных для замещения литологических горизонтов и экранов определяет иногда многоярусное размещение рудных залежей и их морфологию.

Размеры рудных тел по простиранию до 1500 м, по падению до 900 м, мощность от первых метров до нескольких десятков метров.

Руды содержат 5-20% барита, редко до 40%. Примерами месторождений являются Джусинское, Молодежное, Чебачье (Россия), Куросава, Такара (Япония), Мегген, Раммельсберг (Германия) и т.д.

В группе *флюорит-баритовых* месторождений выделяется два геолого-промышленных типа:

1) жило-, линзо- и плитообразные, секущие, реже согласные тела, имеющие гидротермальный, гидротермально-метасоматический генезис и сложенные рудами *флюорит-баритовой, флюорит-барит-полиметаллической* формации;

2) согласные и секущие линзо-, жилообразные тела, генетически связанные с массивами карбонатитов и сложенные рудами *редкоземельно-барит-флюоритовой* формации.

Первые представлены секущими телами выполнения и минерализованными зонами дробления, залегающими в породах самой различной формационной принадлежности. Основу руд составляет барит, флюорит и кварц, в ряде случаев кальцит. Для рудных тел характерна вертикальная зональность: с глубиной содержание барита уменьшается, а флюорита и кварца (кальцита) увеличивается. Примерами месторождений являются Абагатуйское (Россия), Жупе (Югославия), Гарц, Ильменау (Германия).

Карбонатитовые редкоземельно-флюорит-баритовые месторождения по масштабам оруденения обычно являются мелкими и средними (месторождение Карасугское (Россия), Маунтин-Пасс (США)). Руды этих месторождений представлены сидерит-гематит-флюорит-баритовым с фтор-карбонатами редких земель минерально-промышленным типом. Они могут быть использованы в качестве источников для извлечения фосфора, стронция, редких земель, железа, ниобия, барита, флюорита.

3. ХАРАКТЕРИСТИКА РУД БАРИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

3.1. Вещественный состав баритовых руд

Баритовые руды характеризуются довольно разнообразным химическим составом. Основными элементами руд являются Ba, Ca, Mg, Fe, Si, Al, S, C [5, 6].

Барий входит в состав главного рудообразующего минерала – барита $BaSO_4$ или витерита – $BaCO_3$ и баритокальцита – $CaBa(CO_3)_2$. Содержание BaO в рудах колеблется в широких пределах: от 4 до 64%. Барит в рудах представлен либо мономинеральными агрегатами, либо образует тесные ассоциации с кварцем, карбонатами, глинистыми минералами, с сульфидами. Количество сульфата бария в руде определяет промышленную значимость руд. По его содержанию руды подразделяются на *богатые* (>70%), *рядовые* (40-70%) и *бедные* (<40%).

Кальций входит, главным образом, в состав кальцита, доломита, реже баритокальцита и арагонита; магний – в состав доломита, а также в состав глинистых минералов, в первую очередь гидрослюд. Суммарное содержание CaO и MgO в баритовых рудах колеблется от долей процента до 45%.

Кремний находится, в основном, в составе минералов свободного кремнезема – кварца, реже халцедона; определенная часть его присутствует в составе полевых шпатов, слюд, глинистых минералов. Значительное присутствие в руде кварца, тонкое прораствание его с баритом усложняет процесс обогащения руды, снижает качество получаемой товарной продукции.

Алюминий входит в состав слоистых силикатов (слюд, каолинита, хлорита) и полевых шпатов. Содержание Al_2O_3 в рудах обычно невысокое, как правило не более 10%. Повышенные содержания глинозема характерно лишь для карбонатно-кремнисто-глинисто-баритовых руд.

Железо участвует в образовании оксидов (гематита), гидроксидов (гетита) и сульфидов (пирита, халькопирита, марказита). Относительно высокие содержания железа характерны для карбонатно-баритовых сульфидсодержащих руд, где количество оксидов и сульфидов железа в сумме порой превышает 20%.

Свинец, цинк и медь связаны с наличием в составе руд галенита, сфалерита, халькопирита, в меньшей степени англезита, церуссита, малахита. Повышенные содержания сульфидов в рудах в значительной мере определяют их промышленную значимость и технологию переработки.

Фосфор связан с наличием в рудах фосфатного вещества; марганец – с присутствием псиломелана, пиролюзита, редко родохрозита.

Одной из особенностей баритовых руд является присутствие в их составе стронция. Собственные минеральные фазы Sr, представленные целестином и

стронцианитом, встречаются в баритовых рудах редко, не превышая обычно 1%. В основном Sr присутствует в барите в виде изоморфной примеси. Разновидности с высоким содержанием стронция носят название баритоцелестина.

Содержания редких и рассеянных элементов не превышают кларковых значений, иногда фиксируются повышенные содержания серебра и золота, которые в ряде случаев допускают их промышленное извлечение.

Среди рудообразующих минералов отмечены:

а) по условиям образования: гипогенные и гипергенные;

б) по степени распространенности: широкораспространенные – встречающиеся в рудах практически всех типов месторождений и малораспространенные (ограниченно распространенные) – характерные для руд лишь отдельных типов;

в) по содержанию минералов в руде: главные, второстепенные и примесные. К главным отнесены минералы, содержание которых в руде превышает 10%, к второстепенным – количество которых находится в пределах 1-10%, при содержании в руде менее 1% минерал рассматривается в качестве примесного.

3.2. Структурно-текстурные особенности баритовых руд

К числу важнейших параметров, определяющих качество руды, выбор технологической схемы ее переработки и дальнейшего использования полученной товарной продукции относятся ее структурно-текстурные особенности [2].

Структура руды определяется формой, размерами и способом сочетания отдельных минеральных зерен или их обломков в пространственно обособленных минеральных агрегатах [7]. В зависимости от величины кристаллических зерен различают гиганто- (>10 мм), крупно- (10-1 мм), средне- (1-0,5 мм), мелко- (0,5-0,1 мм), тонко- (<0,1 мм) и разнозернистые структуры.

Наблюдаемые в баритовых рудах структуры могут быть объединены в четыре морфогенетические группы: зернистые, коррозионные, кристаллобластические и кластические – катакластические.

Наиболее распространены в рудных агрегатах **зернистые структуры**.

Рудам присущи разнообразные морфологические виды зернистых структур, различающиеся формой и характером срастания образующих их минералов:

а) *аллотриоморфнозернистая структура* – баритовый агрегат сложен зернами, имеющими аллотриоморфные очертания (рис. 3а). Этот вид структуры характерен для тонко-мелкозернистых руд существенно-баритового, кварц-баритового и карбонатно-баритового состава;

б) *гипидиоморфнозернистая структура* – рудный агрегат сложен зернами барита, кальцита с различной степенью идиоморфизма (рис. 3б). Этот вид структуры характерен для крупнозернистых руд;

в) *ориентированнозернистая структура* – в рудных агрегатах зерна барита, кварца, кальцита имеют ориентированное расположение (рис. 3в). Отмечаются в прожилковых рудах многих месторождений, а также – в полосчатых тонкозернистых карбонатно-баритовых рудах в слойках существенно-баритового состава.

г) *порфириовидная структура* встречается в разнозернистых рудах преимущественно кварц-баритового состава и характеризуется тем, что крупные кристаллы барита таблитчатой и призматической формы распределены в скрыто-, микро-, тонкокристаллической основной массе (рис. 3г);

д) *гребенчатая структура* – агрегаты сложены шестоватыми зернами барита, кварца или кальцита с идиоморфными очертаниями (рис. 3д). Эти зерна располагаются перпендикулярно к поверхности нарастания и заполняют пустоты частично или полностью. Гребенчатые структуры встречаются в рудах с крустификационной и друзовой текстурами, наблюдаются в кварц-баритовых и кальцит-баритовых агрегатах, слагающих руды жильных месторождений;

е) *радиально-лучистая структура* – в баритовых агрегатах округлой формы пластинчатые зерна барита располагаются в виде лучей вокруг центров кристаллизации (рис. 3е). Эта структура характерна для конкреционных руд.

Коррозионные структуры формируются в рудном агрегате при разъедании крупных кристаллов ранее образовавшегося барита более поздними минералами (баритом, кварцем и т.д.), выделившимися из остаточных растворов. Вид коррозионной структуры определяется обликом ранее выделившихся минералов. При незначительном разъедании идиоморфных и гипидиоморфных кристаллов образуются скелетные формы, а при более глубоком разъедании от кристаллов сохраняются только реликты. Границы в коррозионных срастаниях между ранними и поздними минералами зазубренные. Нередко в процессе разъедания образуются каемки кварца по периферии более раннего барита. В этой группе *скелетная* (рис. 4а) и *реликтовая* (рис. 4б) морфологические разновидности. По сравнению с зернистыми коррозионные структуры в баритовых рудах имеют подчиненное значение.

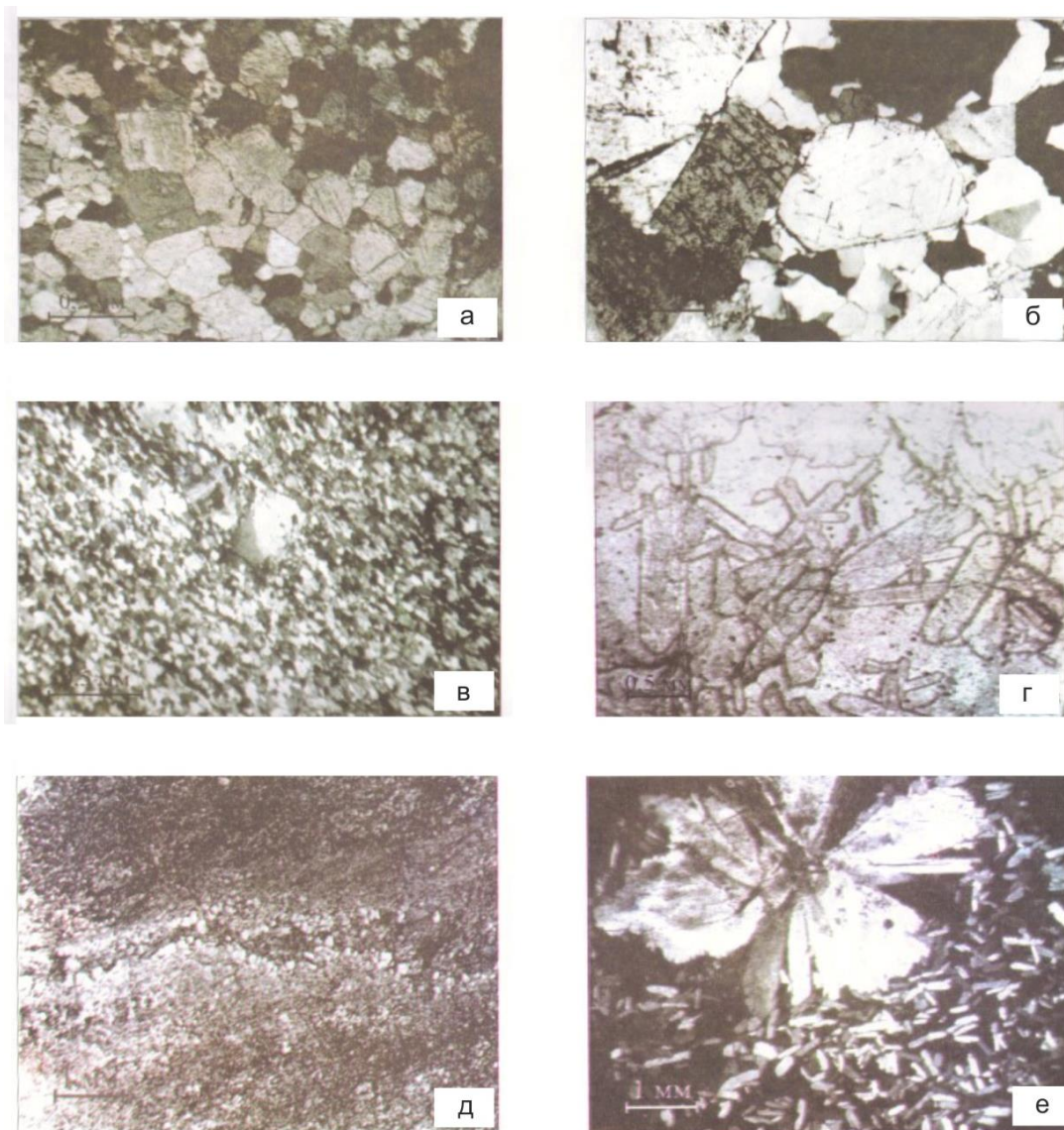


Рис. 3. Зернистые структуры баритовых руд: а) аллотриоморфнозернистая; б) гипидиоморфнозернистая; в) ориентированнозернистая; г) порфировидная; д) гребенчатая; е) радиальнолучистая (фото прозрачных шлифов: а, б, в - николи скрещены; г, д, е - с одним николем)

В *кристаллобластических структурах* основной морфологической единицей являются кристаллобласты барита, образующиеся в процессе перекристаллизации и раскристаллизации минерального вещества в твердом состоянии. Кристаллобластические структуры являются полнокристаллическими и зерна в них хорошо наблюдаются под микроскопом или невооруженным глазом. В рудном агрегате первоначально развиваются тонкозернистые структуры, а затем постепенно образуются мелко-, средне- и крупнозернистые. Перекристаллизация в баритовых рудах, как правило, происходит без изменения минерального состава. Наиболее типичными формами для кристаллобластов барита являются призматическая, округлая, линзообразная и пластинчатая. Иногда в кристаллобластах

барита отмечается полисинтетически-двойниковое строение, а также реликтовые образования основной ткани.

В группе кристаллобластических структур выделяются *гранобластическая* и *порфиробластическая*, наиболее распространенной является гранобластическая структура, характеризующаяся тем, что руда состоит из более или менее изометрических зерен барита одинаковой размерности (рис. 5а). Порфиробластическая структура – это неравномернозернистая кристаллобластическая структура, в которой порфиробласты барита в несколько раз превосходят по размерам зерна основной ткани (рис. 5б).

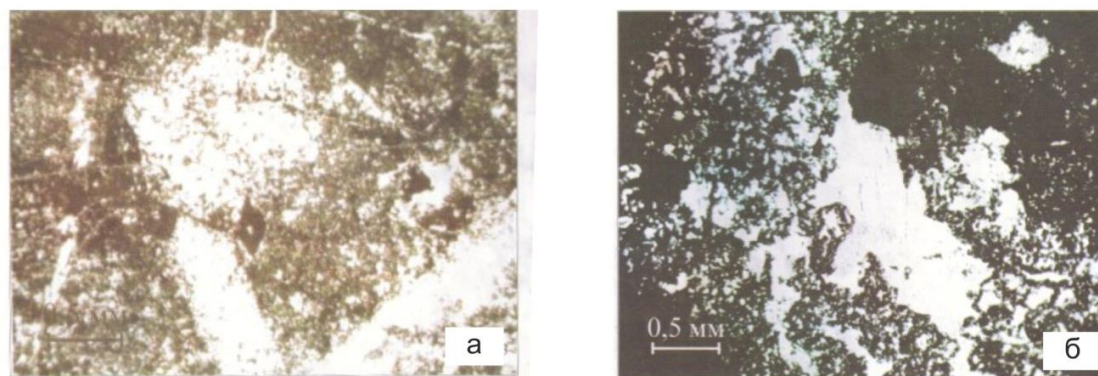


Рис. 4. Коррозионные структуры баритовых руд: а) скелетная (белое – крупные идиоморфные зерна барита, серое – тонкозернистый кварц); б) реликтовая (реликты крупнокристаллического барита в массе микрозернистого кварца) (фото прозрачных шлифов, николи скрещены)

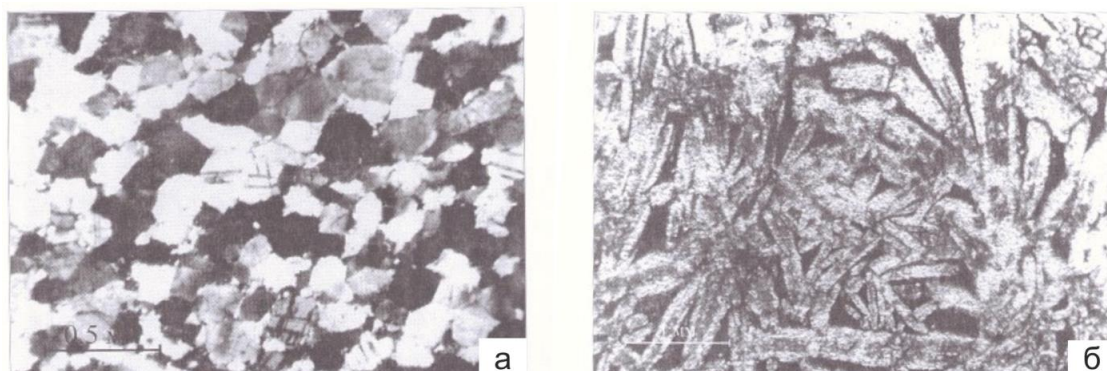


Рис. 5. Кристаллобластические структуры баритовых руд: а) гранобластовая структура, в отдельных кристаллоблестах наблюдается зональное и двойниковое строение; б) порфиробластовая структура, в порфироблестах заметны многочисленные реликты вмещающей ткани (темно-серое) (фото прозрачных шлифов, николи скрещены)

Катакластические структуры характеризуются наличием кластических зерен – обломков, образовавшихся при дроблении и смятии минералов под влиянием динамометаморфизма. Будучи хрупким минералом барит при сжатии или

растяжении разбивается на обломки, формируя структуру дробления, реже смятия. При смятии в зернах барита появляются микросбросы в двойниках, трещинки дробления, при растяжении – трещинки растрескивания, которые залечиваются более поздними минералами (рис. 6).

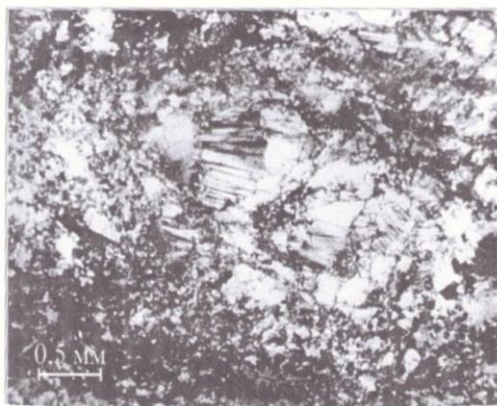


Рис. 6. Кремнисто-баритовая руда. Структура дробления. Крупные полисинтетические двойники барита раздроблены. По трещинам дробления проникает тонкозернистый кварц-баритовый агрегат, слагающий основной матрикс (прозрачный шлиф, николи скрещены)

Текстура руды определяется пространственным расположением минеральных агрегатов, отличающихся друг от друга по составу, форме размерам и структуре [8, 9]. В баритовых рудах выделяют как макро-, так и микротекстуры, в которых размеры выделения минеральных агрегатов составляют >2 мм и <2 мм соответственно.

Морфогенетические признаки руд позволяют все многообразие текстур, наблюдаемых в них, объединить в семь групп: однородные, удлиненные, метакolloидные, пятнистые, катакластические (кластические), каркасные и друзовые текстуры. Каждая из групп в свою очередь включает ряд морфологических видов.

Группа **однородных текстур** представлена *массивными текстурами*. Для последних характерно более или менее равномерное распределение минеральных агрегатов одинакового или разного размера и форм, а также беспорядочное (неориентированное) строение. Текстура в баритовых рудах слагается практически мономинеральным агрегатом барита и небольшой примесью кварца, кальцита, доломита, пирита и глинистых минералов. Барит тесно срастается с кварцем или карбонатами (кальцитом, доломитом), которые равномерно распределены в баритовой массе, заполняя промежутки между его зернами.

Массивные текстуры наблюдаются в существенно баритовых (рис. 7а), кварц-баритовых (рис. 7б) и карбонатно-баритовых рудах, наиболее характерны

для первых, обычно богатых руд, в которых барит преобладает над кварцем, карбонатами и другими примесными минералами.

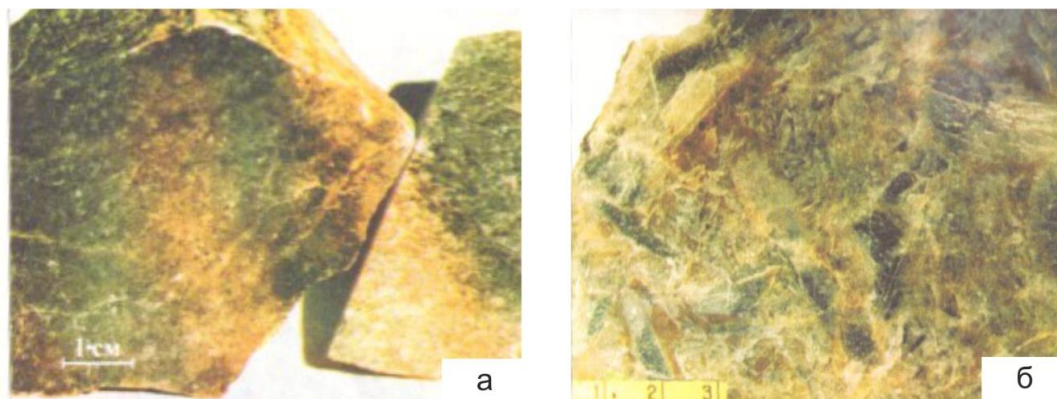


Рис. 7. Массивная текстура в существенно баритовых (а) и кварц-баритовых (б) рудах

В группе *удлиненных текстур* выделяются полосчатые, линзовидно-полосчатые, оолит-пизолит-полосчатые, обломочно-полосчатые, конкреционно-полосчатые и вкрапленно-полосчатые сланцеватые, плейчатые, крустификационные, поясовые. Общим для них является ориентированное расположение минеральных агрегатов, различающихся мощностью, составом, окраской и структурой.

Полосчатая текстура – текстура руд, в которых наблюдается чередование полос, отличающихся друг от друга составом, структурой, окраской (или ее интенсивностью), размерностью или различным сочетанием перечисленных признаков. Выделяются следующие морфологические разновидности полосчатых текстур: грубополосчатые, тонкополосчатые (рис. 8а) и микрополосчатые; яснополосчатые и неяснополосчатые; параллельно-полосчатые и волнисто-полосчатые (рис. 8б, в); равномернополосчатые и неравномернополосчатые (рис. 8г).

Грубополосчатая текстура имеет мощность полос от 100 до 5 мм, тонкополосчатая – от 5 до 0,5 мм и микрополосчатая – менее 0,5 мм. Равномернополосчатая текстура характеризуется тем, что полосы (слои), слагающие руду, имеют более или менее одинаковую мощность, а неравномернополосчатая – разную мощность. Яснополосчатая текстура определяется тем, что полосы (слои) в руде имеют правильную форму (выдержаны по простиранию) и постоянную мощность, границы четкие, ясные; когда эти условия не соблюдаются, текстура определяется как неяснополосчатая. Параллельно-полосчатая текстура характеризуется тем, что слои, формирующие текстуру, параллельны друг другу, а волнисто-полосчатая – наличием полос или серий слоев, имеющих волнистые границы. Разновидностью волнисто-полосчатой текстуры является перекрестно-

волнисто-полосчатая, где угол наклона между сериями слоев различен, часто меняется, границы резкие, отчетливые.

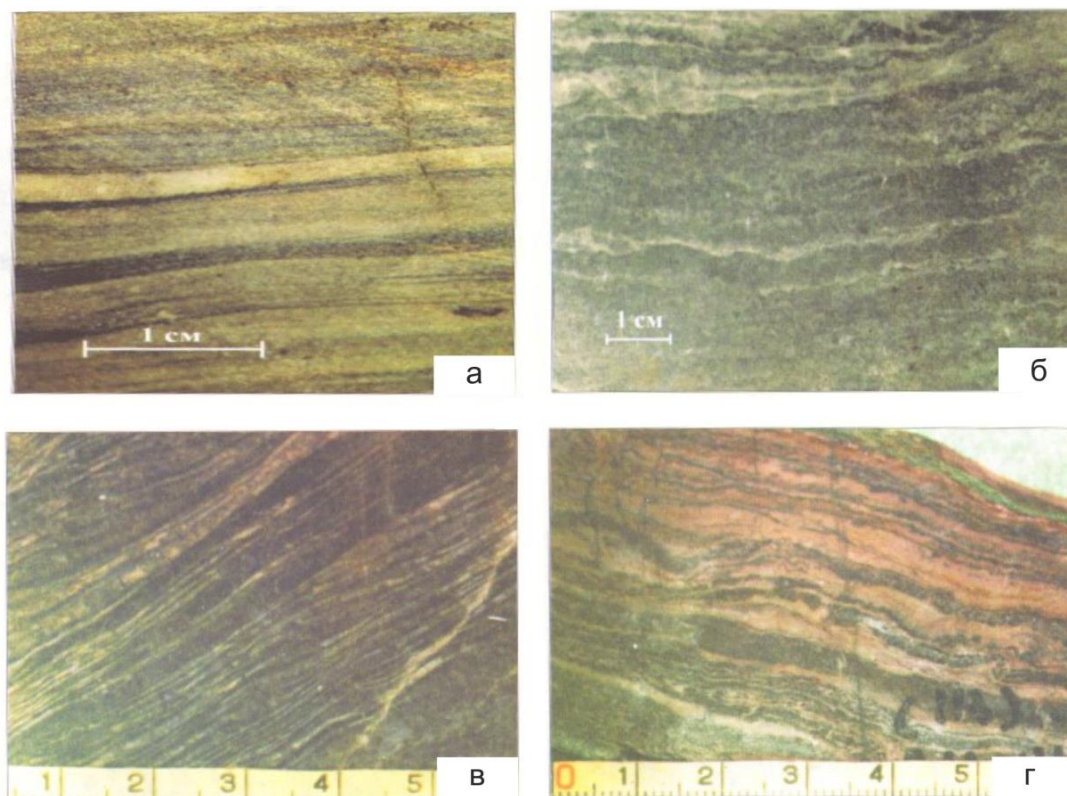


Рис. 8. Полосчатая текстура баритовых руд (полированные штуфы): а) тонкополосчатая текстура, чередование тонких (до 0,5 см) слоев карбонатно-баритового и карбонатного состава; б) волнисто-полосчатая текстура, тонкозернистый барит (белое) образует извилистые, невыдержанные по мощности слои, чередующиеся с прослоями микрозернистого известняка (серое); в) перекрестно-волнисто-полосчатая текстура, пологие серии слоев, представленные тонким переслаиванием баритовых (светло-серые) и доломитовых (темно-серые) агрегатов, срезают друг друга по волнистым поверхностям; г) неравномерно-полосчатая текстура, чередование слоев тонкозернистого барита (белое, розовое) различной мощности с прослоями доломитового (серое) и барит доломитового состава

Если барит в форме слоев, прослоек и полосок постепенно выклинивается по простиранию, приобретая форму линзочек, то такая текстура относится к *линзовидно-полосчатой* (рис. 9а). *Оолит-пизолит-полосчатая текстура* (рис. 9б) определяется наличием слоев, обладающих оолитовой, пизолитовой или оолит-пизолитовой текстурами. *Обломочно-полосчатая текстура* (рис. 9в) свойственна мелкообломочным брекчиям, в которых обломки пород имеют четко ориентированное расположение, эта текстура приобретает облик петельчато-полосчатой в случае петлеобразно упорядоченного расположения баритового цемента. В *конкреционнo-полосчатой текстуре* (рис. 9г) прослои представлены скоплениями баритовых конкреций. Конкреционные прослои образуются за счет

срастания баритовых конкреций в плоскости, субпараллельной плоскостям напластования вмещающих пород. *Вкрапленно-полосчатая текстура* определяется наличием во вмещающих породах слоев, обладающих вкрапленной текстурой, при этом в качестве вкрапленников выступает барит, который может быть представлен как отдельными кристаллами, так и микроконкрециями.

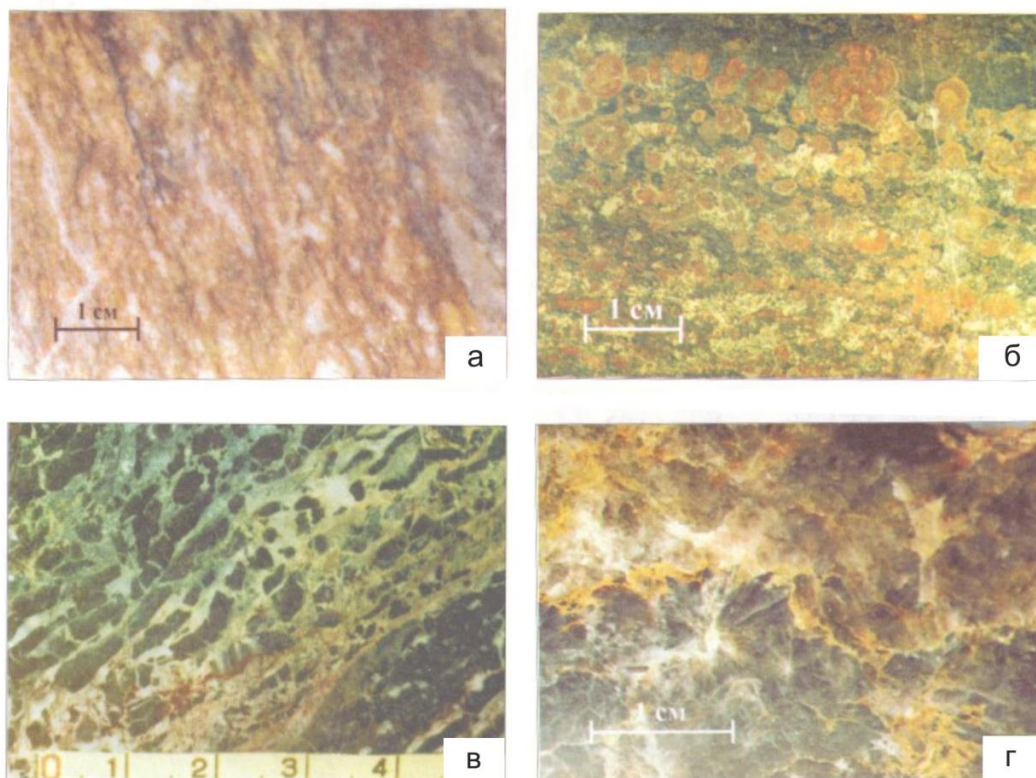


Рис. 9. Удлиненные текстуры баритовых руд (полированные штуфы): а) линзовидно-полосчатая текстура, прослои баритового состава (светло-серое) выклиниваются, образуя серию параллельных, субпараллельных линзочек, межслоевое пространство выполнено минералами группы лимонита (бурое); б) оолит-пизолит-полосчатая текстура, агрегаты тонкозернистого барита (светло-желтое) выполняют отдельные концентры оолитов и пизолитов (красное) и пространство между ними. Буровато-серое – основная масса кальцит-доломит-баритового состава; в) обломочно-полосчатая текстура, полосчатость подчеркивается ориентированным расположением обломков (реликтов слойков) доломитового состава (черное). Сцементированные баритом (белое) разобщенные обломки доломита вытянутой формы трассируются субсогласно первичной слоистости; г) конкреционно-полосчатая текстура, сrostки радиально-лучистых конкреций барита, формирующие прослои в существенно баритовой руде

В рудах, претерпевших динамометаморфизм, наблюдается сланцеватая и плейчатая текстуры. *Сланцеватая текстура* характеризуется линейным или плоскопараллельным расположением баритовых агрегатов, образуется под влиянием ориентированного давления.

Площчатая текстура образуется при смятии тонких слоев баритового, кварц-баритового, карбонат-баритового состава в мелкие складки. Иногда слои разорваны и смещены.

Крустификационная и поясовая текстуры встречаются в баритовых рудах жильных месторождений, характерно поясное расположение минеральных агрегатов, которое возникает при последовательном нарастании последних вдоль стенок жил и наблюдается в жилах полиминерального состава: кварц-баритовых, сульфидсодержащих баритовых, кварц-флюорит-баритовых и др.

В группе *метаколлоидных текстур* рассматриваются оолит-пизолитовые и конкреционные текстуры. Они определяются морфологией баритовых агрегатов, которые под действием поверхностного натяжения и силы тяжести приняли сферическую форму (конкреции и оолиты). Метаколлоидные текстуры возникают за счет перекристаллизации коллоидного вещества в процессе диагенеза или метаморфизма и отличаются от коллоидных текстур раскристаллизацией и перекристаллизацией минеральных агрегатов.

Оолит-пизолитовые текстуры наблюдаются в рудах карбонатно-баритового состава и характеризуются скоплением оолитов, представляющих собой минеральные агрегаты округлой и эллипсоидальной формы с концентрически-зональным строением (рис. 10). Оолиты образуются в весьма подвижной среде в результате концентрического нарастания коллоидного вещества вокруг взвешенных в воде песчинок, глинистых частиц, органических остатков, обломков оолитов, пузырьков воздуха и т.д. Первичное коллоидное вещество оолитов в процессе диагенеза претерпевает изменения, в результате кристаллизации образуются минеральные агрегаты (барит, кальцит, доломит, пирит), слагающие отдельные концентры оолитов и пизолитов, зернистую структуру которых можно наблюдать под микроскопом. В процессе дальнейшего преобразования они нередко могут замещаться более поздними минералами. Например, кальцит и доломит замещаются кварцем, баритом, пиритом. Различаются оолиты простые и сложные, последние состоят из двух-трех оолитов, окруженных общей оболочкой, форма их иногда бывает деформирована. Выделяются собственно-оолитовая текстура с размером оолитов от 0,2 до 2 мм и пизолитовая с размером оолитовых образований от 2-2,5 мм до 1,5-2 см.

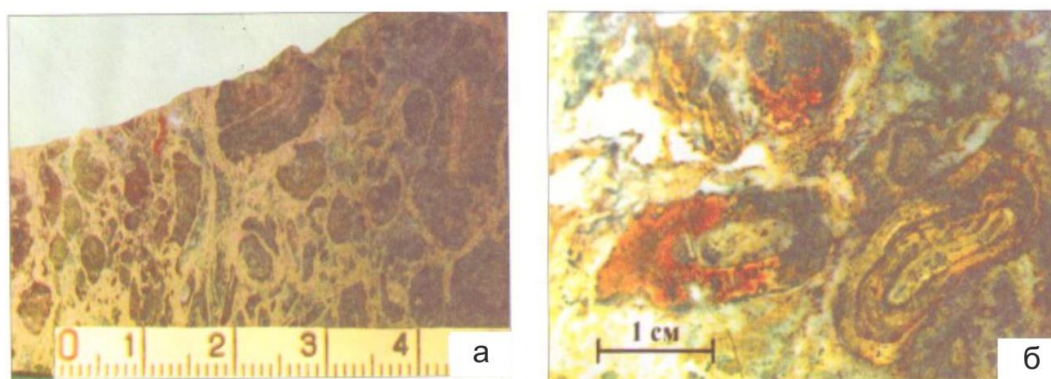


Рис. 10. Пизолитовая текстура баритовых руд (полированные штуфы): а) метаколлоидный пирит (желтовато-серое) окаймляет и цементирует пизолиты, сложенные доломитом (темно-коричневое) и баритом (коричневато-серое). В цементе выступают участки тонкозернистого доломит-баритового агрегата, пронизанного тонкими пиритовыми выделениями причудливой формы; б) деформированные пизолиты сложены баритом (желтовато-бурое), доломитом (серовато-бурое) и минералами группы лимонита (красновато-коричневое, коричневато-бурое), сцементированы ожелезненным доломит-баритовым агрегатом. Барит поздней генерации (молочно-белое) образует пятна неправильной формы.

Оолиты и пизолиты чаще всего сложены доломитами и кальцитом, реже пиритом и гематитом, барит выполняет отдельные конкреции. Цемент находится в подчиненном количестве по отношению к оолитам и пизолитам и представлен тем же материалом, который слагает оолиты и пизолиты, обычно в цементе преобладают барит, доломит и кальцит.

Конкреционные текстуры характеризуются наличием баритовых конкреций шарообразной, овальной или уплощенной формы в кремнистом (рис. 11а), кремнисто-глинистом материале. Размеры их варьируют в широких пределах. Различают микроконкреции диаметром от десятых долей до 2 мм и макро- или собственно конкреции диаметром более 2 мм. К микроконкрециям относятся сферолиты, микросгустки, «округлые» микроагрегаты.

Поверхность конкреций может быть гладкая, бугристая, ребристая. Внутреннее строение также разнообразно, обусловлено характером расположения кристаллов барита – радиально-лучистое, веерообразное, «ельчатое», конус в конус (рис. 11б).

В группе *пятнистых текстур* выделяются *прожилково-пятнистые* (рис. 12а), *вкрапленные* (рис. 12б) и *гнездово-вкрапленные*. Характеризуются они тем, что неправильной, изометричной, вытянутой и округлой форм баритовые агрегаты различной размерности в виде вкрапленности, гнезд и пятен хаотично распределены во вмещающей породе. Размер баритовых агрегатов колеблется от десятых долей мм до первых см. Вкрапленные текстуры характерны для бедных руд.

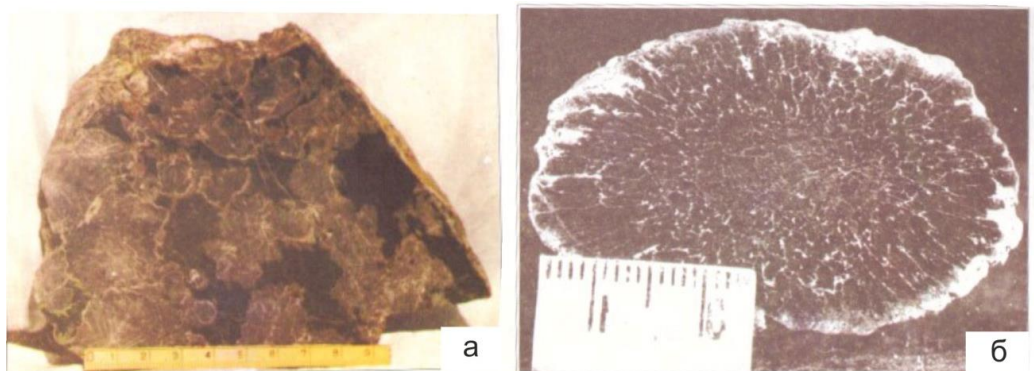


Рис. 11. Конкреционная текстура баритовых руд (полированные штуфы): а) радиально-лучистые стяжения (сфероиды) барита (серое) погружены в криптозернистую кремнистую массу (черное); б) конкреция барита, в ядре – тонкозернистый барит, во внешней зоне – бариты с текстурой «конус в конус». В межзерновом пространстве и по периферии конкреции алевроглинистое вещество (светло-серое)

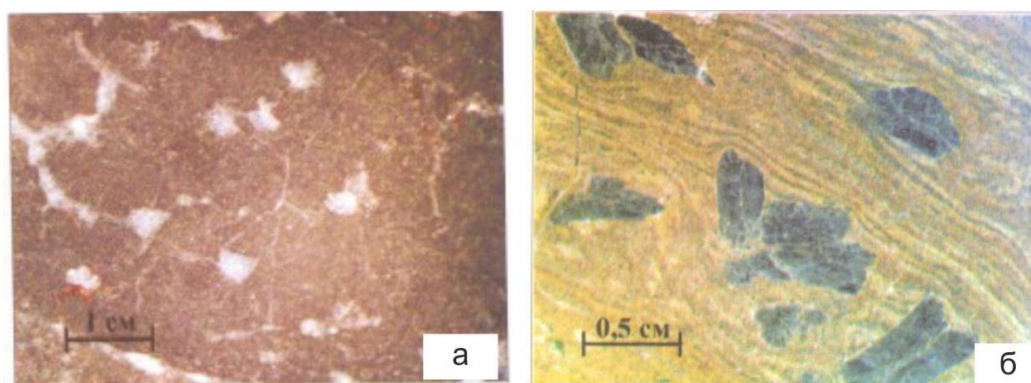


Рис. 12. Пятнистая текстура баритовых руд (полированные штуфы): а) прожилково-пятнистая текстура, барит (белое) в виде обособлений изометричной и неправильной форм и разноориентированных прожилков располагается в тонкозернистом доломите (бурое); б) вкрапленная текстура, крупные хаотично-расположенные идиоморфные порфиробласты барита и их сростки (серое) обтекаются минералами основной ткани, состоящей из пелитовых частиц каолинита, образующего очковые стяжения (светло-коричневые), чешуек гидрослюда и зерен кварца

В группе *катакластических текстур* выделяются брекчиевая, брекчиевидная, прожилково-брекчиевая, прожилковообразно-брекчиевидная, обломочная и землистая.

В зависимости от формы обломков текстуры делят на *брекчиевые* (рис. 13а), если обломки угловаты и *брекчиевидные* (рис. 13б), если обломки округлы. Обломки и цемент являются различными минеральными образованиями с определенными парагенетическими ассоциациями, структурами и текстурами. Обломки могут быть представлены как вмещающими породами, так и рудами. Размеры обломков от долей мм и выше. Тип цемента базальный, реже кру-

стификационно-базальный. Структура цемента тонко-, мелко-, крупно- и разнозернистая. По составу цементы разнообразны: кремнистые, карбонатные, баритовые и сложные.

Прожилково-брекчиевая (рис. 13в) и *прожилковообразно-брекчиевидная* (рис. 13г) *текстуры* характеризуются развитием прожилков барита по трещинам, пересекающим породу или руду в зонах брекчирования, или по трещинам отдельности и сланцеватости. *Прожилково-брекчиевая* текстура образуется в результате заполнения баритом открытых полостей, *прожилковообразно-брекчиевидная* – при одновременном развитии процессов заполнения и замещения. Баритовые прожилки заполнения имеют ровные границы, а прожилки замещения – извилистые и содержат реликты замещаемых минералов.

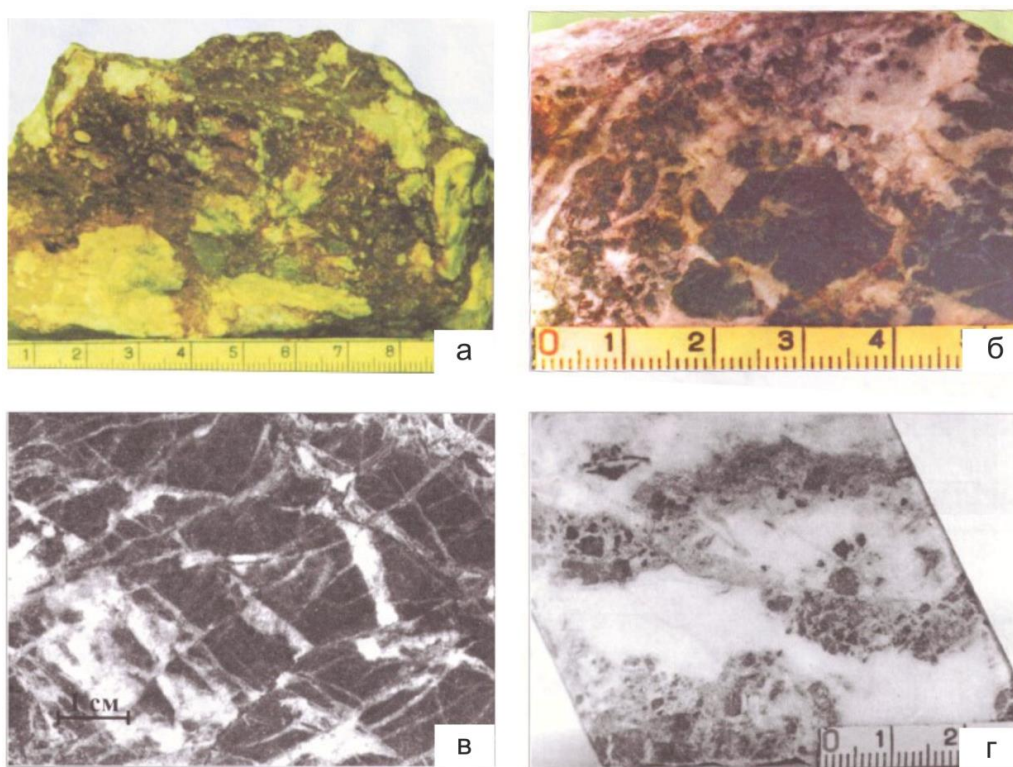


Рис. 13. Катакластическая текстура баритовых руд: а) брекчиевая текстура, обломки барита (желтое) в гетит-кальцит-доломитовом цементе (коричневое) (штуф, покрашенный хроматом калия); б) брекчиевидная текстура карбонатно-баритовых руд (полированный штуф); в) прожилковая текстура, тонкозернистый барит (белое) выполняет трещины в пелитоморфном доломите (темно-серое) (полированный шлиф); г) прожилковообразная текстура замещения, обломки доломита (темно-серое) цементированы баритовым агрегатом (светло-серое). Обломки и цемент замещаются баритом (белое) поздней генерации, образующим прожилки с характерными раздувами и пережимами (полированный шлиф)

Обломочная и землистая текстуры свойственны нецементированным рыхлым и сыпучим дезинтегрированным баритовым рудам, сформированным при выветривании. Сыпучий материал представляет собой смесь обломков раз-

личной размерности. Руда характеризуется обломочными текстурами, если размерность обломков составляет от 1 и более мм, и землистыми текстурами – если менее 1 мм. В обломках барит чаще всего представлен в виде агрегатов, отдельных кристаллов и зерен. Наряду с обломками барита отмечаются обломки вмещающих пород различной размерности (от долей мм и более).

Текстуры, входящие в группу **каркасных**, характеризуются наличием пустот в руде, которые развиваются в процессе растворения и выщелачивания слагающих ее минералов. Пустоты нередко частично заполнены гипергенными минералами такими, как гетит, каолинит, малахит и др. При глубоком выщелачивании и окислении руды образуются «каркасы», представляющие систему перегородок и пустот: перегородки слагаются, как правило, устойчивыми к химическому выветриванию минералами, такими как барит, кварц, реже доломит.

В зависимости от размеров пустот среди каркасных текстур в рудах выделяются *пористые* (рис. 14а) и *пещеристые*, или *кавернозные* (рис. 14б). Размеры пустот в пористых текстурах не превышают 2 мм, в пещеристых – от 2 до 15 мм и выше, форма их разнообразна и соответствует облику выщелоченного минерала или минерального агрегата, нередко последние представляли собой оолиты и пизолиты.

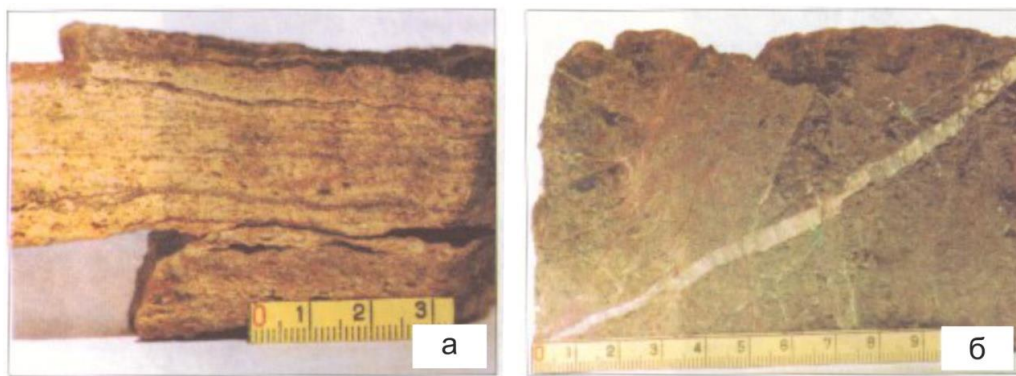


Рис. 14. Каркасная текстура баритовых руд: а) пористая текстура, многочисленные мелкие поры различной формы ориентированы по первичной слоистости руды (штуф); б) кавернозная текстура выветрелых карбонатно-баритовых руд. Пустоты различных форм и размеров разделены перегородками, сложенными баритом с тонкими налетами окислов железа (штуф)

Текстуры друзовые всегда связаны с наличием в породе или руде полостей неправильной, изометричной, линзовидной или округлой формы (рис. 15). На стенках таких полостей отлагаются агрегаты барита, кварца, кальцита, которые частично или полностью их заполняют.

В баритовых рудах жильного типа выделяют друзы нарастания и друзы перекристаллизации. Для баритовых друз нарастания характерно наличие опреде-

ленной поверхности, на которой растут кристаллы барита. Кристаллизация происходит в свободном пространстве. В друзах перекристаллизации нет определенной поверхности, от которой растут кристаллы. В друзах этого типа наблюдается непрерывный переход от вмещающей породы к друзе через зону укрупняющихся индивидов барита.

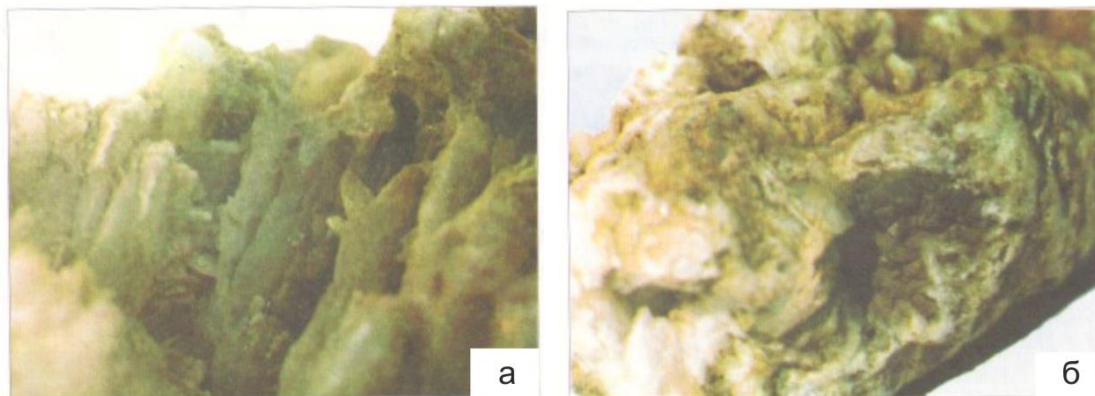


Рис. 15. Друзовая текстура баритовых руд: а) в кавернах витерит-баритовой руды (белое) сформированы полупрозрачные кристаллы ромбовидной формы размером 2-4 мм при толщине 0,2-1 мм и пластинчатые кристаллы, образующие параллельные сростки, с поверхности покрытые тонкими корочками лимонита (коричневое) (штуф); б) поверхность пустот и каверн в баритовой руде выполнены полупрозрачными кристаллами позднего барита ромбовидной и пластинчатой формы, с поверхности покрытых корочками лимонита (штуф)

Как известно, текстурно-структурный облик руд определяется условиями отложения рудного материала, последующего его преобразования и дальнейшим взаимодействием руд с агентами окружающей среды.

Для руд месторождений стратиформного типа типоморфными текстурами являются массивная, полосчатая, оолитовая, конкреционная, пятнистая, вкрапленная и линзовидная, которые формируются в процессе седиментации и диагенеза. Для баритовых руд жильных месторождений типоморфны текстуры, образованные в процессе заполнения пустот в породах и рудах или метасоматического замещения последних: прожилковая, прожилковообразная, массивная, крустификационная, поясовая, друзовая, брекчиевая, брекчиевидная. Две последние характерны также и для руд стратиформных месторождений в зонах тектонических нарушений.

В процессе выветривания формируются каркасные (пористая, пещеристая, кавернозная, ячеистая, ящичная), обломочные, землистые текстуры. Каркасные текстуры характерны для руд месторождений, на которых развита зона окисления, обломочные для руд месторождений, которые были сформированы преимущественно физико-механическим путем.

3.3. Природные типы баритовых руд

По минеральным ассоциациям баритовые руды могут быть объединены в два природных типа – баритовый и барит-содержащий. Ниже приводится обобщенное описание руд, наиболее часто наблюдаемых на баритовых месторождениях.

Существенно-баритовые руды представляют собой породы, в которых содержание барита превышает 70 %. Помимо барита часто встречаются кварц и кальцит, реже отмечаются халцедон, доломит, пирит, минералы группы лимонита, витерит, баритокальцит. Характерно, что среди карбонатов в рудах стратиформных месторождений наряду с кальцитом существенную роль играет доломит, а в рудах жильных месторождений карбонаты представлены почти исключительно кальцитом. Для существенно-баритовых руд наиболее характерны массивная и полосчатая текстуры.

На стратиформных месторождениях руды, как правило, имеют темную до черной окраску, обусловленную присутствием рассеянного углистого вещества. Руды сложены тонко-, мелкозернистыми или разнозернистыми агрегатами. В тонко-, мелкозернистых рудах примесные минералы присутствуют или в виде тонкой вкрапленности, или группируются в маломощные слойки или линзочки среди основной баритовой массы, образуя микрополосчатые или линзовидно-полосчатые текстуры. Для руд, представленных разнозернистым баритом, характерно послойное чередование агрегатов с различной размерностью зерен.

Руды жильных месторождений обычно светлоокрашенные и сложены крупнозернистыми плотными агрегатами. Под микроскопом часто отмечаются катаклатические структуры, дробленные и смятые зерна барита. Иногда в рудной массе наблюдаются тонкие кальцитовые прожилки, несущие сульфидную минерализацию. Последняя представлена пиритом, марказитом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом и киноварью. Сульфидные минералы могут также присутствовать в рудах в виде тонкой вкрапленности.

В **карбонатно-баритовых рудах** содержание барита колеблется от 15 до 70%. Наряду с баритом в значительных количествах присутствуют карбонатные минералы (кальцит, доломит и витерит). Кроме главных рудообразующих минералов, в незначительных количествах присутствуют гидрослюда, каолинит, серицит, хлорит, пирит и лимонит. В кальцит-баритовых рудах карбонаты представлены преимущественно кальцитом, при незначительном содержании доломита и кварца, при этом на жильных месторождениях доломит в рудах практически отсутствует. В доломит-баритовых рудах, наряду с баритом, основная

рудобразующая роль принадлежит доломиту, кальцит относится к второстепенным минералам, его количество не превышает 10%. Последние характерны преимущественно для стратиформных месторождений. Витерит-баритовые руды встречаются преимущественно на месторождениях жильного типа. Основным полезным компонентом в них, наряду с баритом, является витерит, среди рудообразующих минералов в значительном количестве может присутствовать кальцит; доломит редок, встречаются также кварц и сульфидные минералы.

Руды стратиформных месторождений, как правило, тонко-, мелкозернистые, серой окраски различной тональности, массивной и полосчатой текстуры. Достаточно часто встречаются руды, характеризующиеся пятнистыми и оолит-пизолитовыми текстурами. Среди полосчатых руд преобладают тонко-, микрополосчатые разновидности, представляющие собой частое переслаивание баритовых, карбонатно-баритовых и карбонатных слоев, последние нередко обогащены дисперсным углистым веществом. Оолит-пизолитовые руды наиболее часто встречаются в доломит-баритовом типе, здесь барит выполняет отдельные концентры оолитов и пизолитов и слагает цемент в тесной ассоциации с карбонатными минералами. Значительно реже отмечаются руды с конкреционной, брекчиевой и брекчиевидной текстурами.

На жильных месторождениях основная масса руд слагается крупнозернистыми агрегатами кальцита и барита. Руды белого цвета с розоватым, желтоватым, сероватым, голубоватым оттенками за счет наличия примесей. Наиболее характерны массивные текстуры, довольно часто наблюдаются и брекчиевые. В последних цемент сложен крупнокристаллическим кальцит-баритовым агрегатом.

Основными рудообразующими минералами *кремнисто-баритовых руд* являются барит и кварц. Содержание $BaSO_4$ колеблется от 15 до 70%, содержание SiO_2 может достигать 85%. Подчиненное значение имеют кальцит, доломит, гидрослюда, каолинит, монтмориллонит, пирит и лимонит.

На жильных месторождениях кремнисто-баритовые руды сложены средне, крупнокристаллическим баритом с гнездами и полосовидными обособлениями силицитов. Отмечаются также руды, где барит тесно сростается с кварцем. В зальбандах жил часто присутствует незначительное количество карбонатных минералов. Для руд характерны массивные, поясовые и крустификационные текстуры.

Для кремнисто-баритовых руд стратиформных месторождений характерно более широкое разнообразие текстур и структур. Наиболее типичны поло-

счатые текстуры и их многочисленные морфологические разновидности. Полосчатые руды, как правило, темно-серой до черной окраски, представляют собой чередование кремнисто-баритовых, баритовых и кремнистых прослоев мощностью от долей мм до первых см. Границы между прослоями четкие или постепенные. Типичными текстурами являются также массивные и конкреционные текстуры, реже встречаются брекчиевые, брекчиевидные и вкрапленные.

В *кремнисто-карбонатно-баритовых рудах* содержание $BaSO_4$ колеблется от 15 до 70%. Основным карбонатным минералом является кальцит, существенная роль принадлежит кварцу, содержание которых в сумме может составлять до 85%. Однако содержание кварца всегда ниже кальцита. Эти руды встречаются как на жильных, так и на стратиформных месторождениях. Для кварц-кальцит-баритовых руд стратиформных месторождений наиболее характерны полосчатые и пятнистые, в рудах жильных месторождений широко развиты брекчиевые, брекчиевидные и прожилковые текстуры. Цветовая гамма обычная: серые тона для руд стратиформных месторождений и различные оттенки белого для руд жильных месторождений.

Карбонатно-кремнисто-глинисто-баритовые руды характеризуются относительно невысоким содержанием $BaSO_4$ и, за редким исключением, относятся к категории бедных. По содержанию основных рудообразующих минералов в них выделяются кварц-гидрослюдисто-баритовый и доломит-кварц-гидрослюдисто-баритовый минеральные типы. В незначительных количествах в них присутствуют кальцит, каолинит, серицит, хлорит, пирит, гематит, минералы группы лимонита. Кварц-гидрослюдисто-баритовые руды известны как на стратиформных, так и на жильных месторождениях, доломит-кварц-гидрослюдисто-баритовые только на стратиформных. В рудах стратиформных месторождений преобладают полосчатые, линзовидно-полосчатые, вкрапленные, полосчато-вкрапленные текстуры. В полосчатых и линзовидно-полосчатых рудах барит образует тонко-, мелкозернистые агрегаты в виде слоев и линз, которые чередуются с безрудными прослоями, представленными кремнисто-глинистыми и карбонатно-кремнисто-глинистыми породами. Вкрапленные и вкрапленно-полосчатые руды характеризуются тем, что погруженные в кремнисто-глинистую или карбонатно-глинистую основную массу кристаллы барита, концентрируясь в отдельных участках, придают руде элементы ориентированной текстуры. На жильных месторождениях кремнисто-глинисто-баритовые руды приурочены чаще всего к обновленным тектоническим зонам. Во вновь созданных полостях и трещинах идет образование мелкозернистого барита, который интенсивно замещает

вмещающие породы. Характерны брекчиевидные текстуры. В отличие от описанных ранее типов, руды стратиформных месторождений светло-окрашены, преобладают желтовато-бурые, зеленовато-бурые, грязно-серо-желто-бурые тона. Цветовая гамма руд жильных месторождений обычна.

В *карбонатно-баритовых сульфидсодержащих рудах* в качестве основных рудообразующих минералов наряду с баритом и карбонатами присутствуют сульфиды. Последние представлены в основном пиритом, на жильных месторождениях также и марказитом, менее характерны сфалерит, галенит и другие сульфиды. Суммарное содержание сульфидов превышает 10%, порой значительно.

Содержание барита невысокое, обычно оно не более 40%, чаще составляет порядка 15-25%. Основную часть рудной массы слагают карбонаты. В массивных крупнозернистых рудах жильных месторождений они представлены исключительно кальцитом, в незначительных количествах присутствует кварц. Сульфиды развиты как непосредственно в массивных баритовых агрегатах, так и в секущих рудную массу кальцитовых прожилках. Иногда пирит-марказитовые агрегаты образуют в рудной массе хорошо выдержанные, с резкими контактами зоны мощностью до 20 см.

В сульфидсодержащих рудах стратиформных месторождений существенное значение имеет доломит. По своему вещественному составу они близки к доломит-баритовому типу карбонатно-баритовых руд и отличаются от последних лишь повышенным содержанием пирита, который представлен двумя морфологическими разновидностями: метаколлоидным и кристаллическим. Первый слагает оолитоподобные, почковидные, колломорфные, сферолитовые образования; кристаллический пирит образует агрегативную вкрапленность и прожилки. С пиритом зачастую связаны серебросодержащие минералы, которые обычно присутствуют в нем в форме мельчайших включений. Для руд этого типа характерны оолитовые и пизолитовые текстуры.

Песчано-глинисто-баритовые руды представляют собой продукты выветривания первично-баритовых и комплексных барит-содержащих руд. Состав рудообразующих минералов полностью зависит от материнского субстрата. Кроме барита, в составе руд находятся глинистые минералы, минералы группы лимонита и др.

Визуально руды представляют собой несвязанные сыпучие породы («сыпучку»), текстурные признаки исходных баритовых руд отмечаются лишь в более или менее крупных обломках. «Сыпучка», как правило, сложена смесью обломков различной размерности: щебнистой, дресвяной, песчаной, алевритовой и

пелитовой. В приповерхностных частях рудных тел «сыпучка» может быть слабо сцементирована алевропелитовым материалом.

Цвет «сыпучки» варьирует в широких пределах и обусловлен присутствием окислов и гидроокислов железа, марганца и меди. Барит в обломках представлен либо массивными разностями в виде кристаллических агрегатов, отдельных кристаллов и зерен, часто в бурожелезняковой (гетитовой) рубашке, либо сростками с кварцем, карбонатом или гетитом. Последний нередко образует псевдоморфозы по пириту.

4. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ БАРИТОВЫХ РУД ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ КАЧЕСТВА

При изучении баритовых руд и определении их качественных характеристик выделяются две группы методов: 1) полевые методы, позволяющие провести предварительную оценку сырья без использования сложных методик и оборудования и 2) лабораторные методы, направленные на получение более достоверных и полных данных.

4.1. Полевое изучение баритовых руд

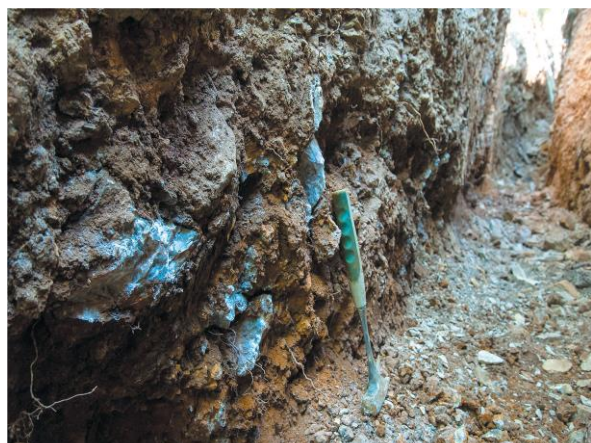
Полевое изучение руд (рис. 16, 17, 18) осуществляется при геологической документации естественных обнажений, горных выработок и скважин. В процессе исследований проводится определение минерального состава руд и их текстурно-структурных особенностей.

При изучении минерального состава в первую очередь фиксируются основные рудообразующие минералы (барит, кварц, кальцит, доломит, глинистые минералы), а также минералы, которые в зависимости от содержания могут иметь как промышленное значение, так и отрицательно влиять на технологичность руд, в качестве вредных примесей. В роли таковых обычно выступают сульфиды и окислы металлов (Pb, Zn, Cu, Fe) и флюорит.

Рудообразующие минералы диагностируются по основным физическим характеристикам (цвету, блеску, плотности, твердости и др.). Простейшим методом определения наличия барита является метод прокаливания образца в пламени паяльной трубки. При этом присутствие в образце бария (основной минеральной фазой которого является барит) определяется по желтовато-зеленому цвету пламени.

Основными диагностическими признаками барита являются его совершенная спайность и высокая плотность. Последняя позволяет определять наличие барита в визуально однородных породах, в том числе в темноокрашенных углеродсодержащих кремнисто-глинистых и карбонатных, где барит имеет не «традиционную» белую, а темную, темно-серую до черной окраску, сходную с окраской вмещающих образований. Кроме того, барит химически инертен, что позволяет отличать его от карбонатов (кальцита и доломита) и характеризуется более низкой по отношению к кварцу твердостью.

Визуальная диагностика основных рудообразующих минералов (барита, баритокальцита, кальцита и доломита) значительно облегчается и при использовании методик окрашивания.



а)



б)



в)

Рис. 16. Полевое изучение баритовых руд и проявлений. а) Канавой вскрываются баритовые руды остаточного типа, Бретьякское месторождение (Башкортостан) (Ахманов и др., 2017); б) Барит с вкраплениями галенита, отобранный из периферии вертикальных жильных тел, месторождение Вади Аль-Масила (Йемен) (Аль-Хадж М., 2017); в) Фото стенки карьера у с. Кильдяшево, Республика Татарстан (Королев и др., 2012) со стратиформным залеганием баритовых образований в глинистых породах и конкреции, извлеченной из горной выработки

Диагностика барита методом окрашивания заключается в следующем: исследуемый материал (шлих или штуф) помещают в емкость с кальцинированной содой (Na_2CO_3). Раствор доводят до кипения и кипятят в течение 5-10 минут, после чего сливают. В результате взаимодействия барита с раствором кальцинированной соды на его поверхности образуются корочки (пленки) витерита. Образец промывают и помещают в раствор хромата калия (K_2CrO_4), где кипятят еще 5-6 минут. При этом образованный на поверхности зерен барита витерит приобретает желтую окраску. Окрашенный образец тщательно промывают и высушивают. Использование данной методики позволяет диагностировать барит в общей породной массе, в том числе и на фоне других сходных по цветовой гамме и морфологии минералов без применения оптических методов. При этом необходимо учитывать, что белый барит в результате окрашивания становится жел-

тым, а барит «нетрадиционной» темной, темно-серой окраски приобретает зеленовато-желтый оттенок [2]. При диагностике доломита и кальцита используются известные методики. По одной из них доломит приобретает оранжево-красный цвет при окрашивании его титановым желтым в слабом (5%) растворе NaOH и пурпурную окраску при окрашивании ализариновым красным в 30% растворе NaOH. Ализариновый красной в 2% растворе HCl окрашивает кальцит в красный цвет, доломит при этом приобретает слабо-фиолетовый оттенок, а барито-кальцит в ассоциации с окрашенными карбонатами становится зеленоватым.

При изучении минерального состава (рис. 17) наряду с качественной диагностикой минеральных форм, слагающих руду, должно быть проведено визуальное определение их относительного содержания и выделены главные, второстепенные и примесные минералы. Основным качественным показателем руд является содержание в них сульфата бария.

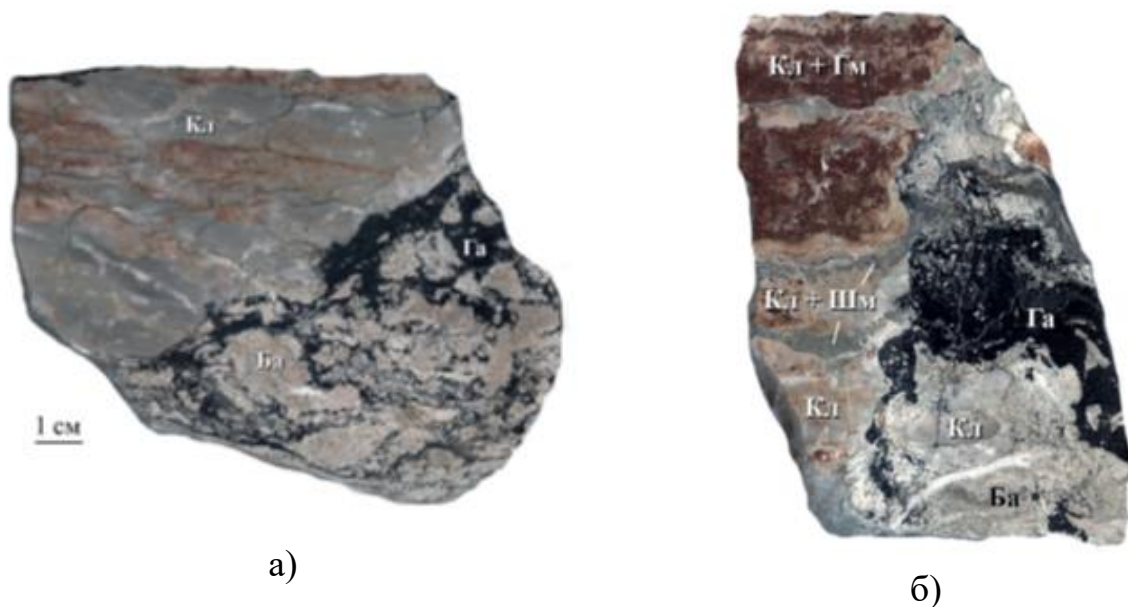


Рис. 17. Барит-свинцовые руды (Брусницын и др., 2025). Фотографии образцов. Контакт сплошных пятнистых руд с известняками: а) руды сферолитовой структуры: в правой части кадра скопления сферолитов барита (светло-серые), окруженные галенитом (черный), в левой части кадра - серый известняк (неравномерно-серая масса) с тонкими алевролитовыми слоями (темные) и послойными скоплениями гематита (бурые); б) пятнистые руды, замещающие ритмично-полосчатый известняк: в правой части кадра - пятнистый агрегат барита (неравномерно серый) и галенита (черный) с включениями кальцита (однородный серый) и шамозита (серо-зеленые слойки), в левой части кадра - ритмично-полосчатый известняк. *Минералы:* Га - галенит, Гм - гематит, Шм - шамозит, Кл - кальцит, Ба - барит

В полевых условиях при использовании методики окрашивания данные об относительном содержании барита в руде могут быть получены при определении соотношения площади окрашенных участков с общей площадью образца. В то-

нозернистых рудах, характеризующихся тонким прорастанием различных минеральных фаз, окраска барита подавляет окраску других минералов. В этом случае о содержании барита в руде можно судить по интенсивности желтой окраски образца.

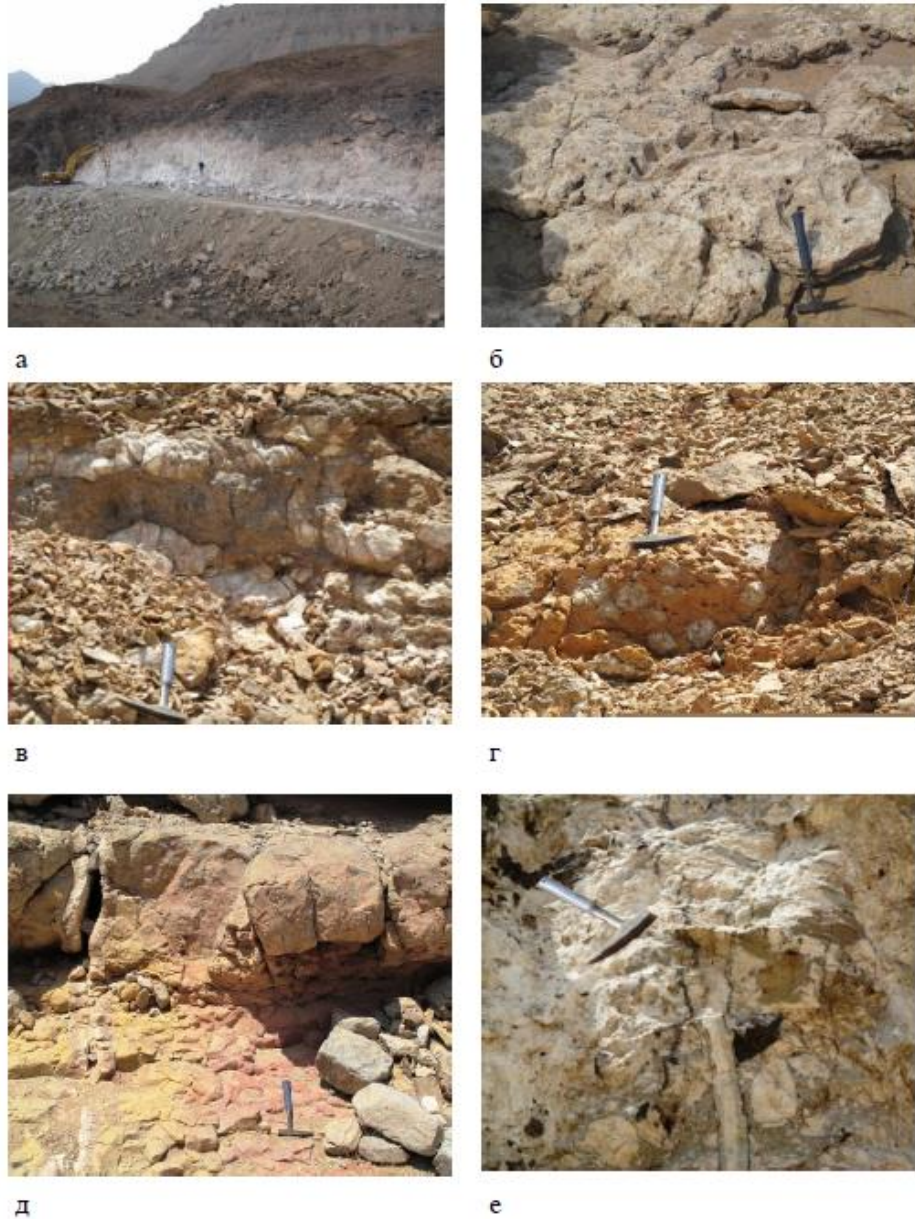


Рис. 18. Фото различных типов проявления барит-полиметаллического оруденения в карбонатных породах. Месторождение Вади Аль-Масила (Йемен) (Аль-Хадж М., 2017): а, б) стратиформные жилы; в, г) пластово-линзовидные обособления; д, е) секущие жилы

Достаточно достоверные данные о содержании барита могут быть получены при использовании ядерно-геофизических методов. В практике проведения геолого-разведочных работ на баритовых месторождениях наибольшее распространение получили рентген- радиометрический каротаж (РРК) и гамма-гамма каротаж (ГГК). По результатам ГИС на диаграммах РРК и ГГК-И рудные тела

отчетливо выделяются минимальными значениями гамма-активности и интенсивности рассеянного излучения. Для определения процентного содержания барита в руде используется уравнение связи, которое рассчитывается индивидуально для каждого конкретного объекта при сопоставлении результатов геофизических исследований с данными лабораторных анализов керновых проб. Ядерно-геофизическими методами возможно проведение оценки руд даже с незначительным (менее 30%) содержанием барита. Высокая эффективность и оперативность ядерно-геофизических методов позволяет рекомендовать их к применению на различных стадиях геолого-разведочных работ, в том числе и для оценки рудных тел в естественных обнажениях. Необходимым условием при этом является предварительное проведение лабораторных исследований для определения зависимости качественных показателей руд от интенсивности проявления геофизических факторов. Однако следует учитывать, что на применение ядерно- геофизических методов отрицательно влияет присутствие в рудах тяжелых металлов (Fe, Pb, Sr).

При изучении текстур и структур руд определяется размер, морфология и характер взаимоотношения минеральных агрегатов, слагающих руду, оценивается размерность зерен и способ их сочетания друг с другом, особое внимание при этом уделяется агрегатам барита. Итогом является выделение присущих рудам морфогенетических типов текстур и структур.

Результатом полевого изучения руд является их предварительная типизация (по минеральному составу, содержанию барита и текстурно-структурным особенностям) и параметризация выделенных типов в пределах рудного тела.

4.2. Лабораторное изучение баритовых руд комплексом аналитических методов

С целью более детального изучения качественных и количественных характеристик руд в лабораторных условиях применяется комплекс аналитических методов. При этом устанавливается элементный и фазовый состав руд.

Ответственным этапом в проведении исследований является первичная подготовка материала проб, которая должна обеспечить их гомогенность и, как следствие – эквивалентность состава отдельных навесок, используемых в различных видах анализа. Без соблюдения этого основного требования невозможна корректная интерпретация результатов и сопоставление данных, полученных различными независимыми методами.

Элементный состав (табл. 2, 3) предварительно изучается с помощью спектрального анализа. Последний позволяет выделить пробы с повышенным (относительно кларковых) содержанием барита и сопутствующих ему компонентов. Набор анализируемых элементов стандартный: Ba, Pb, Zn, Ag, Cu, Fe, Mn, Sr. На начальных стадиях изучения для выявления характерных примесных компонентов пробы целесообразно анализировать на более полный набор элементов.

Определение содержания в рудах основных элементов возможно также с применением атомно-адсорбционного анализа. Последний, совместно со спектральным, применяется в качестве предварительного, экспрессного анализа. Пробы с содержанием барита 10% и выше подвергаются химическому анализу, который позволяет провести достаточно достоверную оценку содержания барита в руде. При этом, кроме содержания BaO в рудах в зависимости от результатов спектрального анализа и предполагаемого минерального типа руды, целесообразно определение содержаний: CO₂, SO₃, SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO, Fe₂O₃, Pb, Zn, Au и Ag [3].

Целесообразно проводить пересчет результатов химического анализа на минеральный состав и оценить при этом содержание барита.

Таблица 2

Химический состав барит-свинцовых руд (Брусницын и др., 2022)

Компоненты	Руды		КК
	не окисленные	окисленные	
SiO ₂	7.50	15.19	2.15
TiO ₂	0.14	0.45	3.21
Al ₂ O ₃	2.03	9.23	4.55
Fe ₂ O ₃ ^{общ}	1.36	7.61	5.60
MnO ^{общ}	0.65	1.08	1.66
MgO	1.30	0.95	0.92
CaO	36.40	2.05	0.06
Na ₂ O	0.15	0.18	1.20
K ₂ O	0.50	2.06	4.12
P ₂ O ₅	0.18	3.53	19.61
CO ₂	28.70	6.63	0.23
Pb	3.50	7.18	2.05
BaSO ₄	16.70	28.60	1.71
Zn	0.02	0.07	3.50
Cu	0.03	0.04	1.33
Сумма	99.66	98.26	

Примечание: Приведены анализы крупнообъемных промышленных проб, полученные в лаборатории АО "Жайремский ГОК" (2015). КК – коэффициент концентрации: $КК = C_i^{\text{окисленные}} / C_i^{\text{не окисленные}}$.

Химический состав усредненной пробы кварц-баритового состава
(Юркевич и др., 2024)

Компонент	Концентрация, %
SiO ₂	61,11
TiO ₂	0,42
Al ₂ O ₃	5,62
Fe ₂ O ₃	8,27
MnO	< 0,01
MgO	< 0,05
CaO	0,16
Na ₂ O	0,49
K ₂ O	0,85
P ₂ O ₅	< 0,01
BaO	13,01
SO ₃	5,16
V ₂ O ₅	0,01
Cr ₂ O ₃	< 0,01
NiO	< 0,01
PbO	0,15
SrO	0,05
ThO ₂	0,01
Sb ₂ O ₃	< 0,01
Rb ₂ O	< 0,01
ZnO	< 0,01
Cl	< 0,01
CuO	< 0,01
As ₂ O ₃	< 0,01
LOI	4,69
SUM	100,00

Изучение минерального состава баритовых руд предусматривает диагностику всех минеральных фаз с применением оптико-минералогических и физических методов.

Полученная при макроскопическом изучении информация о текстурно-структурных особенностях руд дополняется изучением руд под микроскопом. Оптико-минералогические исследования (рис. 19, 20, 21) рудообразующих минералов осуществляются по характерным кристаллооптическим константам (форме и размеру зерен, окраске и плеохроизму, спайности, показателям преломления и т.д.). Определяются размер минеральных агрегатов, отдельных минеральных фаз, изучаются их морфологические характеристики и характер взаимоотношений.

Особое внимание уделяется размерности зерен барита и характеру его взаимоотношения с другими минералами, поскольку от этих характеристик во многом зависит возможность применения для переработки руд того или иного метода обогащения. Кроме качественной характеристики минерального со-

става при оптико-минералогических исследованиях целесообразно проводить количественный подсчет рудообразующих минералов. Количественно гранулометрический состав руд определяется с помощью автоматических анализаторов или же ситового и седиментационного анализов.

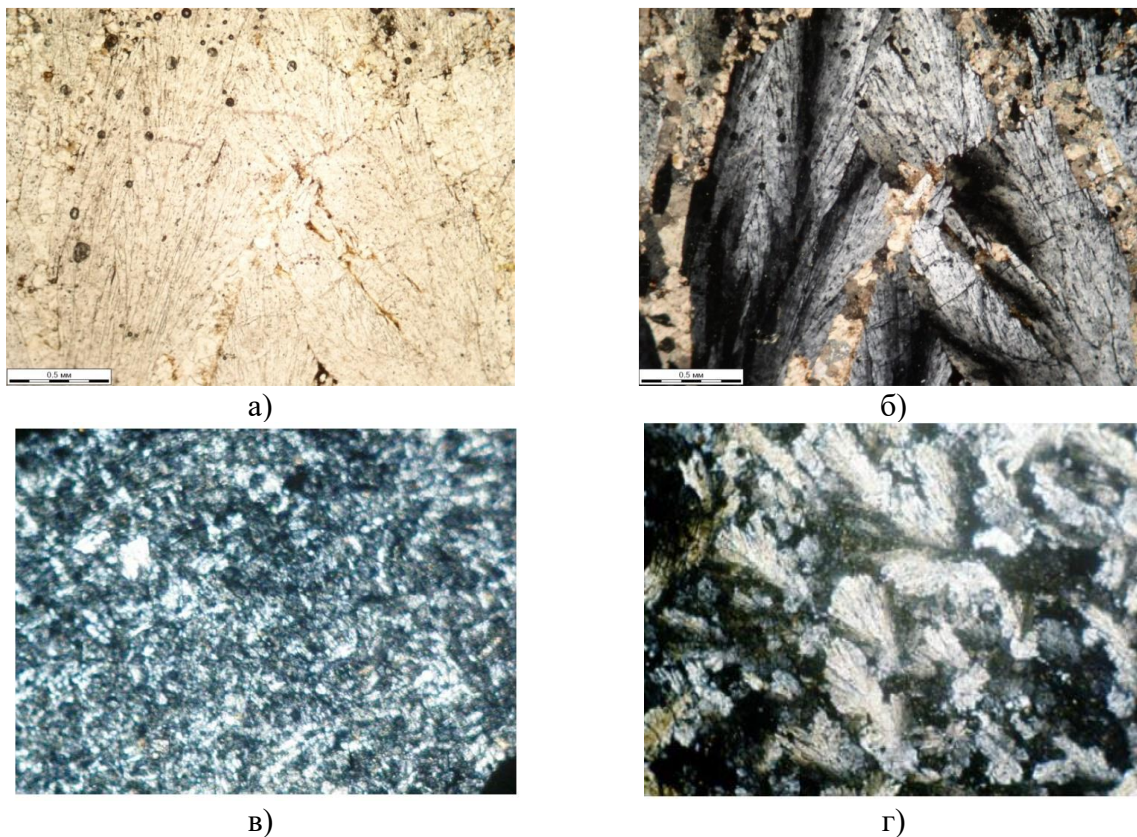


Рис. 19. Оптико-минералогические исследования: а, б) лучистые кристаллы барита в жиле. Местоорождение Вади Аль-Масила, Йемен (Аль-Хадж М., 2017) (николи параллельны и скрещены соответственно); в, г) барит из конкреции, с. Кильдяшево, Республика Татарстан (Королев и др., 2012) (николи скрещены)

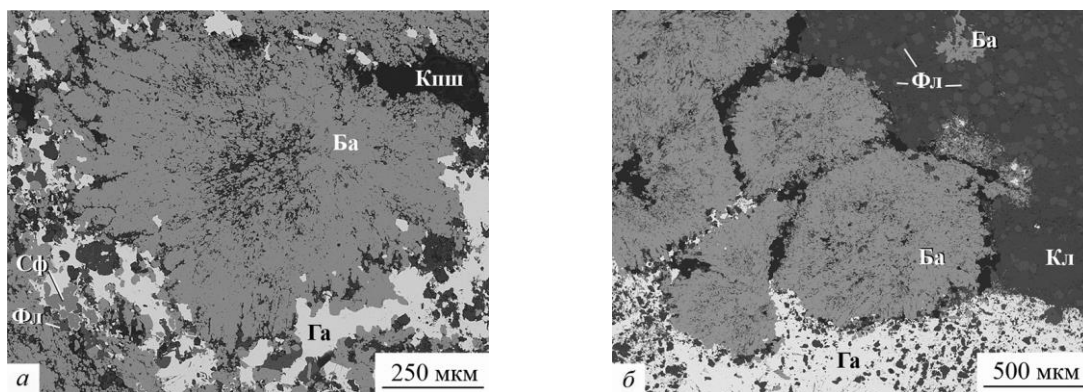


Рис. 20. Минералы барит-свинцовых руд (Брусницын и др., 2025). Фотографии аншлифов в отраженных электронах. а) сферолит барита, окруженный зернами сфалерита, галенита, флюорита и калиевого полевого шпата; б) контакт баритовых сферолитов с кальцитовой массой известняков, содержащей многочисленные кристаллы флюорита; *Минералы*: Сф - сфалерит, Кпш - калиевый полевой шпат, Кл - кальцит, Ба - барит, Фл - флюорит. Черные участки на всех фотографиях - поры

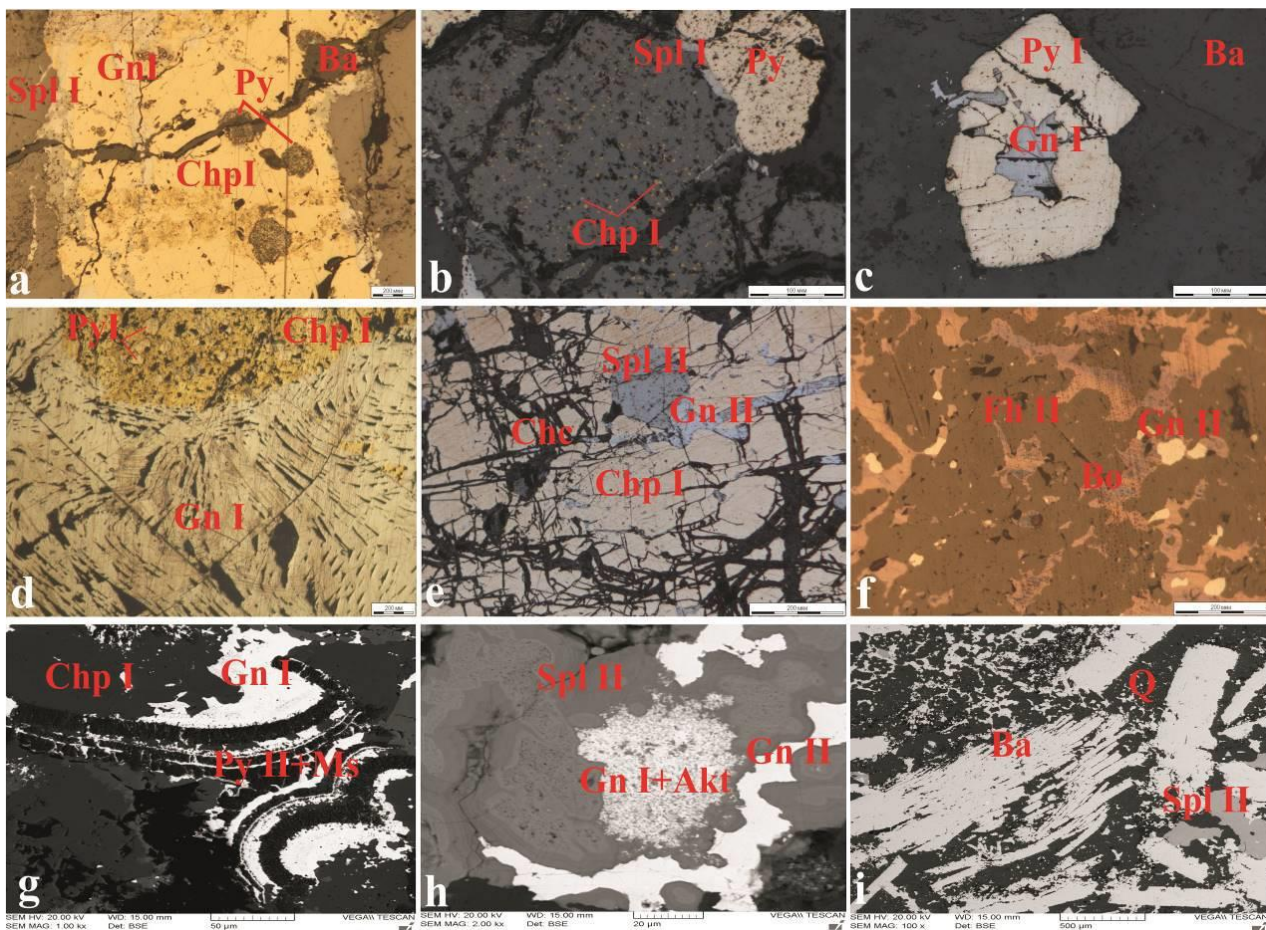


Рис. 21. Основные микро-структурно-текстурные характеристики руд барит-полиметаллических месторождений Змеиногорского рудного района (Бестемьянова, 2021): а) тонкозернистые обособления пирита, сцементированные халькопиритом и разбитые сетью трещин более позднего барита (полиметаллический тип руд); б) эмульсионная вкрапленность халькопирита в сфалерите; в) замещение пирита галенитом; д) проявление структуры деформации в галените; е) петельчатая структура, образованная замещением халькопирита; ф) борнит-халькозиновая парагенетическая ассоциация; г) фрагменты зональных почек более позднего пирита-марказита; h) прожилки галенита между агрегатами сфалерита; и) расщепленные столбчатые кристаллы барита, сцементированные кварцем (барит-полиметаллический тип руд). *Минералы:* Py – пирит, Spl – сфалерит, Chp – халькопирит, Gn – галенит, Ba – барит, Bo – борнит, Fh – блеклая руда, Akt – акантит, Ms – марказит, Q – кварц

Среди физических методов изучения минерального состава барит-содержащих руд наиболее универсальным, значимым и информативным является рентгенографический анализ (рис. 22), применение которого позволяет получить полные и достоверные сведения о качественном и количественном (для основных породообразующих минералов) фазовом составе объектов. Сопоставление результатов этого метода с данными пересчета результатов химического анализа обеспечивает практически полную характеристику минерального состава.

Для изучения карбонатно-баритовых руд эффективным является также метод термического (ДТА, ДТГ) анализа, позволяющий диагностировать и количественно оценивать карбонатные минералы. Этот метод можно рекомендовать

как контрольный в сочетании с методами химического и рентгенографического анализов.

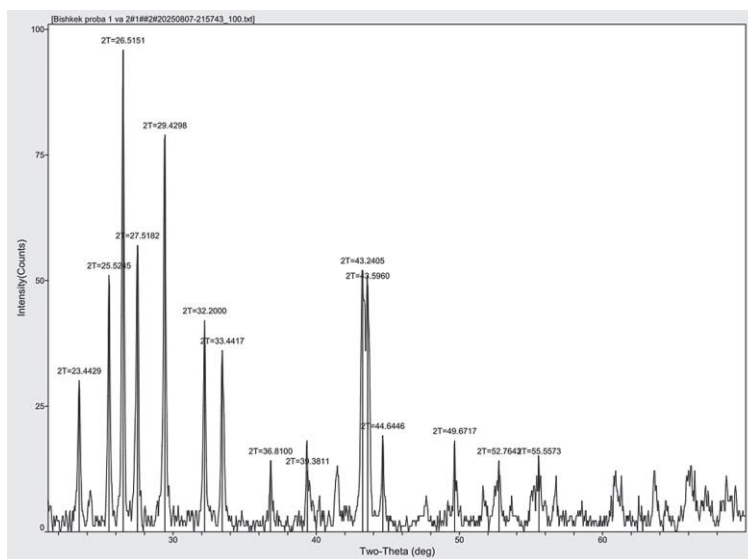


Рис. 22. Дифрактограмма баритового порошка (Айдаралиев и др., 2025)

С целью диагностики минеральных форм присутствующего в рудах железа используются методы ЯГР и ДТМА. Данные по содержанию элементов – микропримесей, естественных радионуклидов, структурных дефектов (ПМ – и оптически активных центров), термомагнитному поведению железосодержащих фаз определяются с помощью методов радиометрии, ЭПР (рис. 23), ФЛ, ДТМА и могут быть успешно использованы при изучении условий формирования баритовых руд и различных корреляционных построениях.

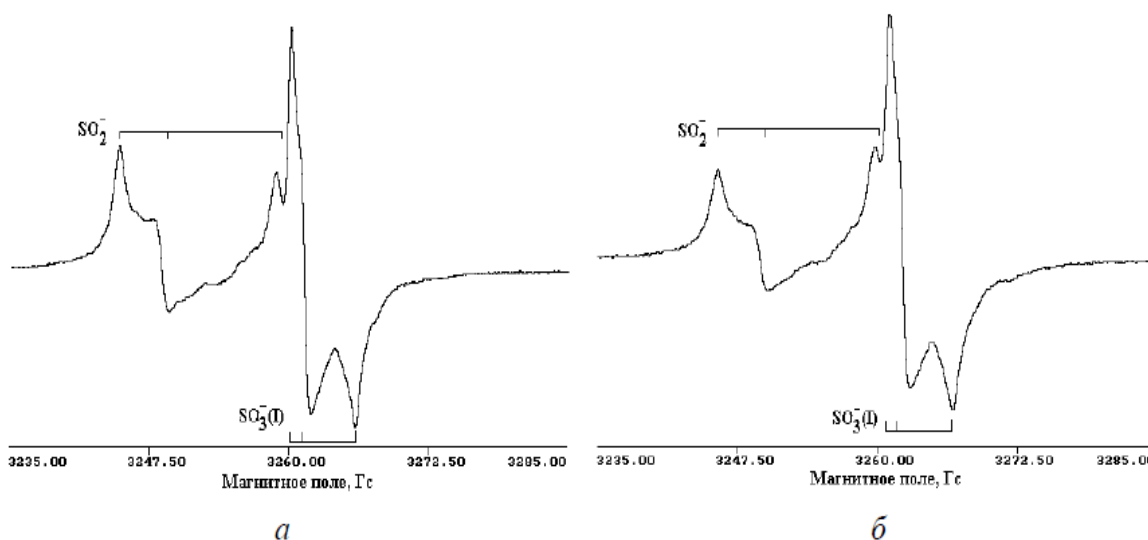


Рис. 23. ЭПР ион-радикалов в исходной баритовой породе: а – до облучения; б – после облучения (Королев и др., 2012)

Инфракрасная спектроскопия (ИК-спектроскопия) (рис. 24) является одним из самых эффективных и информативных неdestructивных методов для изучения различных минеральных форм, также применяется для исследования баритовых руд.

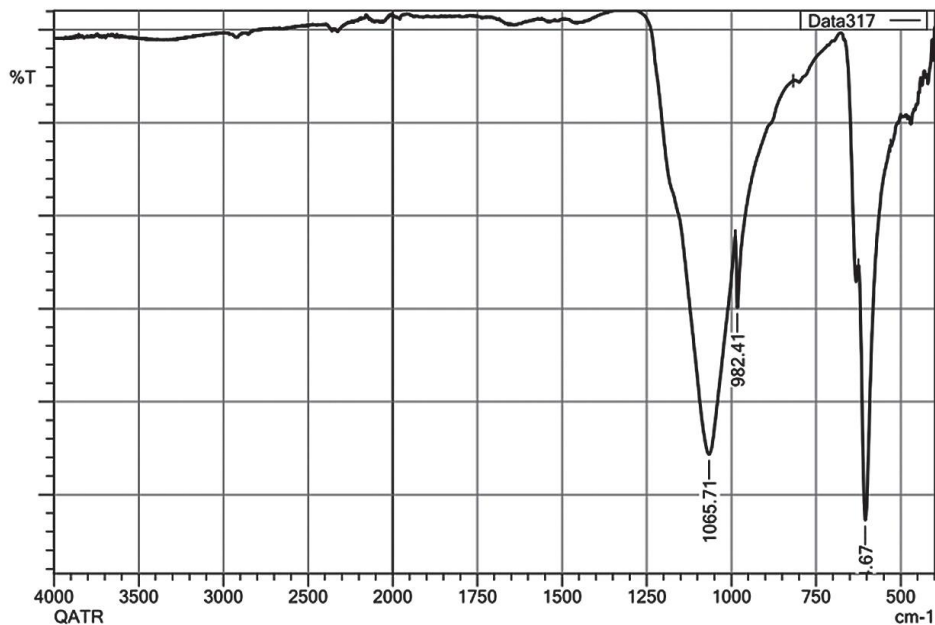


Рис. 24. ИК-спектр баритового порошка (Айдаралиев и др., 2025)

Результатами полевого и лабораторного изучения баритовых руд является выделение их типов, пространственная геометризация в объеме рудного тела и определение направлений использования изучаемого баритового сырья.

5. ТИПОМОРФНЫЕ СВОЙСТВА БАРИТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ТИПА БАРИТОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Типоморфные свойства наиболее отчетливо выражены у минералов, сохраняющих стабильность в весьма широком диапазоне физико-химических условий, а потому проявляющихся в самых различных генетических типах месторождений. К числу таких минералов относится барит, вариации типоморфных особенностей которого являются важнейшими индикаторами условий формирования не только баритовых, но и многих комплексных месторождений.

В качестве типоморфных признаков барита выступают: морфология кристаллов, цвет, твердость, газово-жидкие включения (ГЖВ), изотопный состав серы, содержание изоморфной примеси Sr (барий-стронциевый модуль), объем и параметры элементарной ячейки, радиоактивность, дефекты кристаллической структуры, а также образуемые им агрегаты, формирующие текстуры и структуры руд [1].

Было установлено, что наиболее информативными среди них, однозначно указывающими на генезис барита, являются: содержание изоморфной примеси Sr в барите (барий-стронциевый модуль), дефекты кристаллической структуры (концентрация ион-радикала SO_3^-) и радиоактивность.

Барий-стронциевый модуль. Изоморфизм Ba и Sr в различных термодинамических условиях протекает с разной степенью интенсивности. Установлено, что с повышением температуры и давления значения растворимости сульфатов Sr и Ba сближаются, достигая равенства при температуре 350°C [10], поэтому бариты, образованные в условиях низких температур осадочного процесса, характеризуются более низкими содержаниями Sr, нежели бариты, выпавшие из горячих гидротермальных растворов.

Дефекты кристаллической структуры. Кристаллическая структура барита по степени совершенства отличается от идеальной структуры минерала наличием многочисленных искажений, и в первую очередь, точечных дефектов, связанных с образованием электронно-дырочных (парамагнитных) центров, набор и концентрация которых позволяют судить об особенностях условий образования минерала.

В условиях гидротермального процесса при кристаллизации происходит автолизия – «очищение» структуры барита от дефектов, в условиях седиментогенеза этот процесс выражен в значительно меньшей степени, поэтому бариты осадочного происхождения отличаются от гидротермальных более широким

спектром электронно-дырочных центров и более высокой степенью интенсивности их проявления. Наиболее информативными в баритах являются парамагнитные центры ион-радикала SO_3^- . Гидротермальные бариты характеризуются низкими концентрациями SO_3^- , осадочные - высокими.

Радиоактивность. При кристаллизации барита происходит автолизия от посторонних компонентов, в том числе от урана. При этом подвижность урана зависит от окислительно-восстановительных условий среды: в восстановительной среде она ограничена. Поэтому в осадочных баритах, для образования которых восстановительные условия более характерны в сравнении с гидротермальными, наблюдается относительно и повышенная радиоактивность. Для гидротермальных баритов восстановительные условия менее типичны, поэтому для них характерны низкие значения радиоактивности.

В таблице 4 приводятся результаты изучения вышеописанных типоморфных свойств баритов из руд месторождений трех генетических типов, имеющих наибольшее промышленное значение: **гидротермально-осадочного, гидротермального и гидротермально-метасоматического.**

Абсолютные характеристики типоморфных признаков баритов одного генезиса, выраженные в их числовых значениях, различны для разных провинций, в чем проявляется индивидуальность геологического развития регионов и проходивших в них процессов рудообразования, но они подчиняются общей закономерности – возрастанию в ряду: гидротермальные – гидротермально-метасоматические – гидротермально-осадочные бариты.

Типоморфные признаки: барий-стронциевый модуль, радиоактивность и концентрация ион-радикала SO_3^- предлагается использовать в качестве поисковых признаков [11]. Особенно они могут быть полезны для определения ожидаемого типа баритового оруденения при картировании «закрытых» территорий, когда барит наблюдается лишь в элювиально-делювиальных развалах или аллювии

Наиболее информативные типоморфные признаки баритов

Генетический тип мест-й	Регион Месторождение	Характеристика барита	Min-Max $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$		
			Ba/Sr	α -акт. 10^{-4} экв. U	$SO_3 \cdot n \cdot 10^{14}$ сп/мг
Гидротермальный	<u>Кузнецкий Алатау:</u> Немир, Улухерет, Казановское, Чапсордакское, Таптан-Туразы, Верхнеербинское	Белый до розового средне-крупнозернистый, метаколлоидный	10,5-40,89	0,15-0,5	~0-0,23
	<u>Урал:</u> Мусогатка, Николаевское, Айдырлинское, Екатерининское, Эбитинское, Кусьинское	Белый, розовый, средне-крупнозернистый	29,1-66,54	~0-0,7	3,5-4,4
	<u>Казахстан Каратау:</u> Хатын-Камал	Белый крупно- гигантозернистый	33,0-48,53	0,5	1,98-3,28
	<u>Б.Кавказ:</u> Чордское, Човдарское	Белый, розовый, средне-крупнозернистый	29,24-69,14	0,2-0,5	0,42-2,15
	<u>Приморье:</u> Туманный перевал	Белый, светло-серый, разномзернистый	38,57-46,73	н.д.	Сл.-0,02
			$\frac{10,5 - 69,14}{39,87 \pm 0,68}$	$\frac{\sim 0 - 0,7}{0,27 \pm 0,01}$	$\frac{\sim 0 - 4,4}{1,28 \pm 0,05}$
Гидротермально-метасоматический	<u>Урал:</u> Карское, Войшорское, Поур-Кеу, Собское	Светло-серый до белого, мелкозернистый	72,2-153,94	0,4	9,1-24,2
	<u>Казахстан Каратау:</u> Ансай до I горизонта, Кенколь, Акпешек	Белый, разномзернистый	32,99-128,89	0,95-1,1	1,6-8,83
	<u>Казахстан Атасуйский рудный район:</u> Жайрем, Жуманай, Жалаир, Бестюбе, Кентобе, Карагайлы	Серый до белого, разномзернистый, гранобластический	47,14-50,9	0,2-0,8	1,44-8,98
			$\frac{32,99 - 153,94}{74,97 \pm 1,7}$	$\frac{0,2 - 1,1}{0,78 \pm 0,018}$	$\frac{1,44 - 24,2}{8,48 \pm 0,62}$
Гидротермально-осадочный	<u>Кузнецкий Алатау:</u> Толчинское, Кутень-Булукское, Колбалыкское, Юбилейное	Серый, темно-серый до черного тонко-мелкозернистый, разномзернистый в виде кристаллов и их сростков в кремнисто-глинистых и глинисто-карбонатных породах	132,4-895	2,2-9,9	82,3-254
	<u>Урал:</u> Хойлинское, Пальникское, Акьюловское	Серый, темно-серый до черного тонко-мелкозернистый, разномзернистый, радиально-лучистый, в виде кристаллов и их сростков в черных кремнистых породах	147,1-837,1	0,8-4,4	20-73,6
	<u>Казахстан Прибалхашье:</u> Чиганакское	Серый, темно-серый до черного пластовый и конкреционный, в виде сростков в красных кремнях	242,8-415	1,1-6,0	19,2-39,31
	<u>Казахстан Каратау:</u> Ансайское II ленточный горизонт, Карагуз	Серый, тонко-, мелкозернистый пластовый	107,89-141,6	1,0-3,2	13,5-20,4
			$\frac{107,89 - 895}{365,62 \pm 5,6}$	$\frac{1,0 - 9,9}{3,61 \pm 0,04}$	$\frac{13,5 - 254}{92,08 \pm 1,61}$

6. ПРИМЕРЫ ТИПОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БАРИТОВЫХ РУД

Месторождения баритовых руд – природные минеральные образования, содержащие барит в концентрациях, при которых технически возможно и экономически целесообразно его извлечение и использование.

Баритовые руды подразделяются на простые, собственно баритовые, в которых барит - единственный или главнейший компонент, и комплексные, где барит - второстепенный компонент и добывается попутно. По минеральному составу баритовые руды характеризуются значительным разнообразием.

Среди простых баритовых руд можно выделить следующие промышленные типы: 1) мономинеральные; 2) кварц-баритовые; 3) флюорит-баритовые; 4) глинисто-баритовые и песчано-баритовые; 5) сульфидно-баритовые. Комплексные руды подразделяются на золото-баритовые и барит-полиметаллические, где барит извлекается попутно.

Ведущие типы баритовых руд характеризуются различными запасами товарной руды. На рис. 25 представлена карта мира с локализацией баритовых месторождений и мировых запасов товарного барита.

На территории Российской Федерации (рис. 26) выделяются различные баритоносные провинции, месторождения и проявления барита: Северо-Кавказская, Кольская, Уральская, Алтае-Саянская, Енисейская, Забайкальская, Сихотэ-Алинская, Колымская.

В таблице 5 приведен ряд месторождений барита Российской Федерации (Ахманов, 2017), указано их административное положение и запасы баритового сырья по различным категориям по состоянию на 2016г.

По способу формирования рудных тел месторождения барита можно подразделить на два типа. Рудные тела первого типа возникли при прямой кристаллизации барита из растворов в открытых полостях тектонических трещин и зон брекчирования (плитообразные формы и линзовидные жилы). Второй тип рудных тел образовался путем метасоматического замещения баритом карбонатных пород (по формы залегания – неправильные, жилообразные, линзовидные и пластовые).

В качестве типовых месторождений барита охарактеризованы условия образования и вещественный состав, формы рудных тел, структурно-текстурные особенности следующих генетических типов руд: Немир – гидротермального, Северный Кенколь – гидротермально-метасоматического, Чиганакское - гидротермально-осадочного.

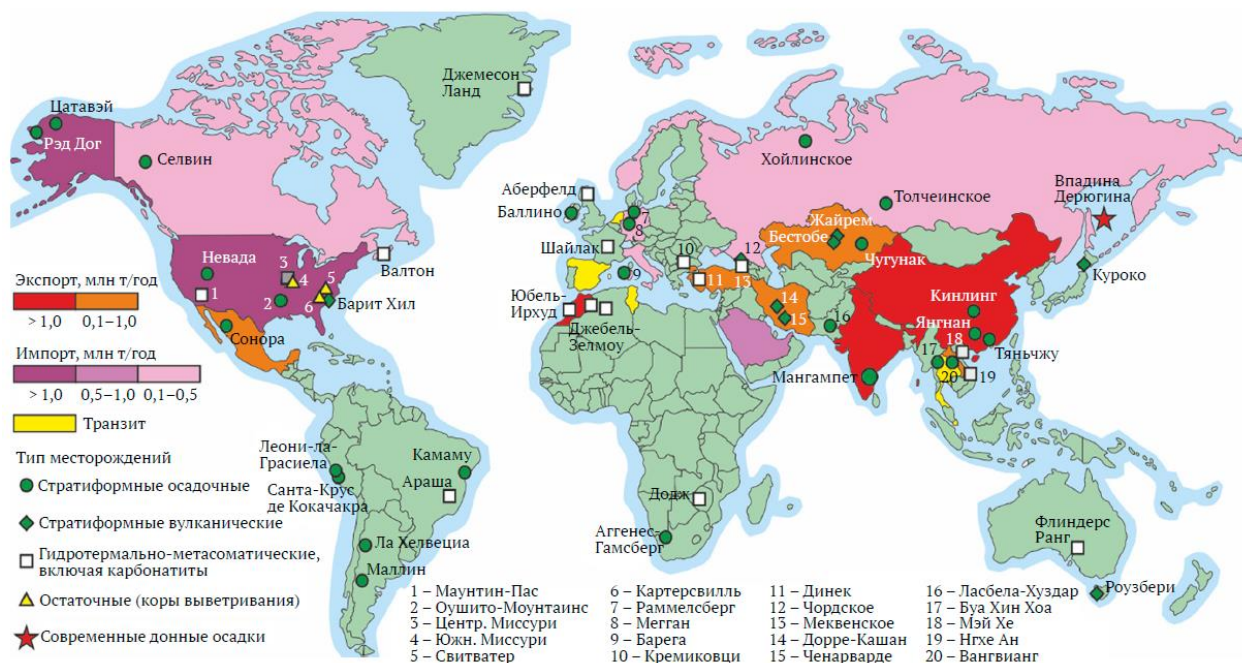


Рис. 25. Карта мира с локализацией баритовых месторождений и стран – лидеров международной торговли баритовым сырьем (Боярко, 2023)



Рис. 26. Баритоносные провинции, месторождения и проявления барита, предприятия, добывающие и перерабатывающие баритовый продукт (Боярко, 2021): 1 – баритоносные провинции (I – Северо-Кавказская, II – Кольская, III – Уральская, IV – Алтае-Саянская, V – Енисейская, VI – Забайкальская, VII – Сихотэ-Алинская, VIII – Колымская); 2, 3 – баритовые месторождения и проявления (а – с запасами свыше 500 тыс. т $BaSO_4$ и/или ресурсами свыше 1 млн т $BaSO_4$, б – малые месторождения и проявления с небольшими запасами/ресурсами): 2 – собственно баритовые месторождения, 3 – комплексные сульфидно-баритовые месторождения; 4 – техногенные баритовые месторождения; 5 – глубоководные площади распространения баритовых конкреций; 6 – горнодобывающие предприятия, реализующие баритовый концентрат (а – действующие, б – остановленные), 7-10 – предприятия по производству: 7 – баритовых буровых смесей, 8 – рентгенозащитных строительных смесей, 9 – бариевых химикатов, 10 – тонкодисперсных баритовых порошков – наполнителей красок

Месторождения барита России (Ахманов, 2017)

Номер на рис. 2	Месторождение	Субъект РФ	Запасы BaSO ₄ на 01.01.2016 г. по категориям, млн т	
			A+B+C ₁	C ₂
1	Хойлинское	Республика Коми	1,79	–
2	Джусинское	Оренбургская область	–	0,048
3	Войшорское	Ямало–Ненецкий АО	0,072	0,108
4	Молодежное	Челябинская область	0,005	0,008
5	Талганское		–	0,030
6	Чебачье		0,635	0,097
7	Медведевское		0,631	–
8	Кварцитовая Сопка	Кемеровская область	2,994	2,310
9	Первомайское		0,270	0,035
10	Первый рудник		0,341	0,079
11	Белоключевское		0,393	0,063
12	Ново–Урское		–	1,933
13	Самойловское		0,110	0,057
14	Зареченское		Алтайский край	0,303
15	Степное	–		0,006
16	Среднее	0,109		0,018
17	Юбилейное	0,198		0,019
18	Толчинское	Республика Хакасия	2,145	–
19	Кызыл–Таштыгское	Республика Тыва	–	0,868
20	Гундуйское	Республика Бурятия	–	4,147

Месторождение Немир – типовое месторождение *гидротермального* генезиса.

Месторождение расположено в обрамлении Минусинской котловины (Республика Хакасия), в междуречье рек Малый Есь и Немир. Район месторождения слагают гранитоиды мартайгинского комплекса среднего кембрия, вулканогенно-терригенные отложения нижнего девона и карбонатно-терригенные отложения среднего девона. Интрузивные образования и отложения девона секутся разрывными нарушениями северо-восточного направления.

Месторождение представляет собой рудную зону, сложенную вулканитами кислого состава и насыщенную беспорядочно ориентированными прожилками барита мощностью до 4 см. При общей мощности 30 м рудная зона состоит из серии субпараллельных зон мощностью 1-10 м, разделенных безрудными интервалами мощностью 1-4 м. Оруденение прослежено на глубину 50 м (рис. 27). Содержание BaSO₄ в рудах колеблется от 22,4% до 79,20%.

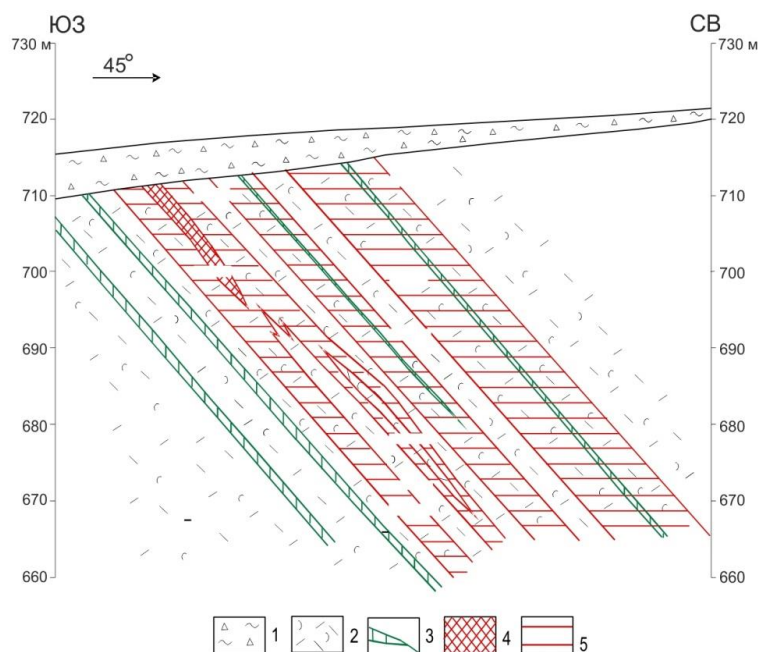


Рис. 27. Геологический разрез месторождения Немир. Условные обозначения: 1 – делювиальные отложения (обломки песчаников, конгломератов, вулканитов, связанных суглинком); 2 – туфы риолитовых порфиров; 3 – зоны разрывных нарушений, фиксируемые участками интенсивного дробления и брекчирования; 4 – баритовые руды прожилковато-вкрапленного типа; 5 – зоны баритизации в виде мелких прожилков и шпиров

Основными компонентами баритовых руд являются барит и кварц, подчиненное значение имеет кальцит, халцедон, серицит, полевые шпаты, гематит, минералы группы лимонита, редко целестин, малахит.

Барит выполняет сеть беспорядочно-ориентированных прожилков, мощностью до 4 см или совместно с кальцитом и кварцем слагает цемент в брекчиевидных разновидностях. Барит характеризуется белой, серовато- и розовато-белой окраской, представлен крупными зернами таблитчатой и пластинчатой формы, которые либо хаотично ориентированы, либо формируют на отдельных участках пакеты из параллельно ориентированных индивидов (рис. 28а).

Среди минералов кремнезема преобладающим является кварц, халцедон встречается в незначительных количествах, образует агрегаты с микроволокнистой или «войлочной» и радиально-лучистой структурой.

Кальцит представлен зернами удлиненной и изометричной формы. Для зерен размером от 0,12 до 1,25 мм характерны полисинтетические двойники. В брекчиевых разновидностях зерна кальцита совместно с баритом слагают цемент, в массивных рудах образуют неправильные агрегаты в межзерновом пространстве крупнозернистого барита (рис. 28б).

Тонкозернистый (менее 0,1 мм) кальцит образует мельчайшие включения в крупных таблитчатых зернах барита или слагает микропрожилки и реакционные каемки, нередко в ассоциации с кварцем и баритом. Остальные минералы

присутствуют в рудах в виде рассеянных вкрапленников и тонких прожилков, содержание их не превышает 1%.

В рудах широко распространены текстуры деформаций (рис. 28в). Помимо текстур деформаций наблюдаются также массивные текстуры (рис. 28г).

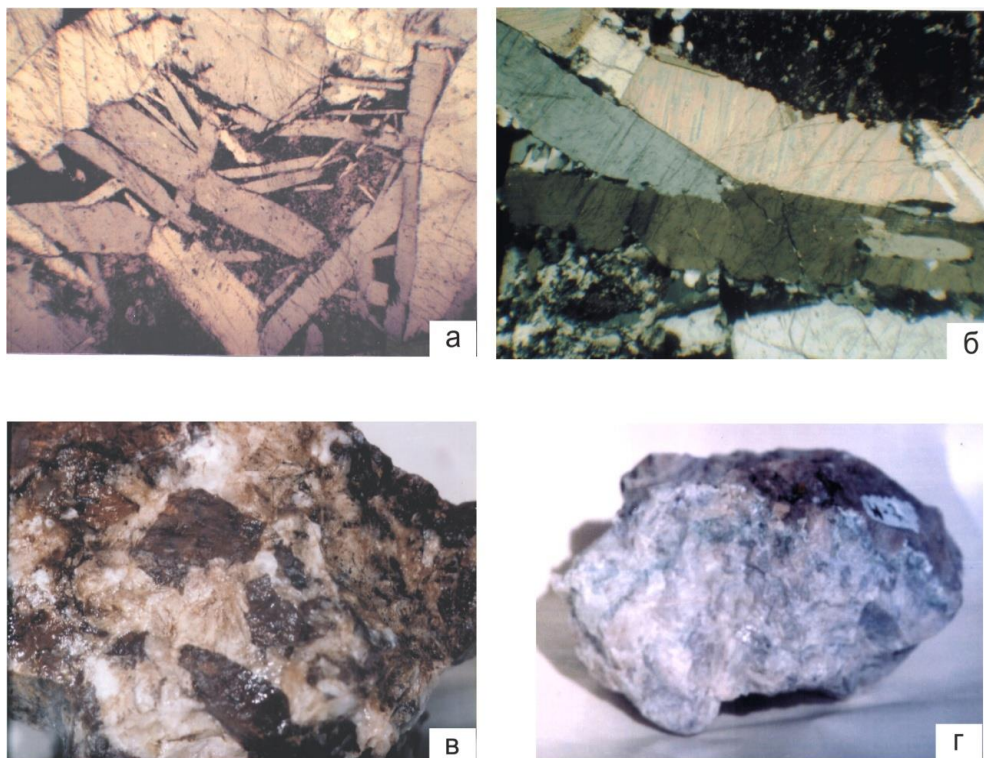


Рис. 28. Баритовая руда месторождения Немир: а) таблитчатая и удлиненно-таблитчатая форма баритовых зерен (прозрачный шлиф, николи скрещены); б) удлиненные зерна барита (серое) в тесной ассоциации с крупнокристаллическим кальцитом (розовое) в цементирующей обломки вулканитов (темное) массе (прозрачный шлиф, николи скрещены); в) баритовая руда брекчиевой текстуры (темное – обломки вулканогенных пород, белое – крупнозернистый баритовый цемент (штуф)); г) существенно баритовая руда массивной текстуры (штуф)

Месторождение Северный Кенколь – типовое месторождение *гидротермально-метасоматического* генезиса.

Месторождение находится в Южном Казахстане и представляет собой северо-западный фланг Миргалымсайского рудного поля. В структурном плане месторождение приурочено к северному переклиналильному замыканию Кенкольской антиклинали, осложненной тектоническими нарушениями. В геологическом строении принимают участие отложения франского и фаменского ярусов верхнего девона.

Терригенные отложения франского яруса слагают ядерную часть антиклинальной складки, а терригенно-карбонатные отложения фамена - ее крылья. Баритовое оруденение представлено серией метасоматических тел сплошных баритовых руд и баритовых брекчий суммарной мощностью до 9 м (рис. 29).

По содержанию полезного компонента выделяются существенно-баритовые и кальцит-баритовые руды. Основной объем рудного тела представляют кальцит-баритовые руды, доля существенно-баритовых руд не превышает по месторождению 20%. Они слагают отдельные линзовидные субсогласно залегающие тела, мощностью 0,4-0,8 м при протяженности до 300 м и более.

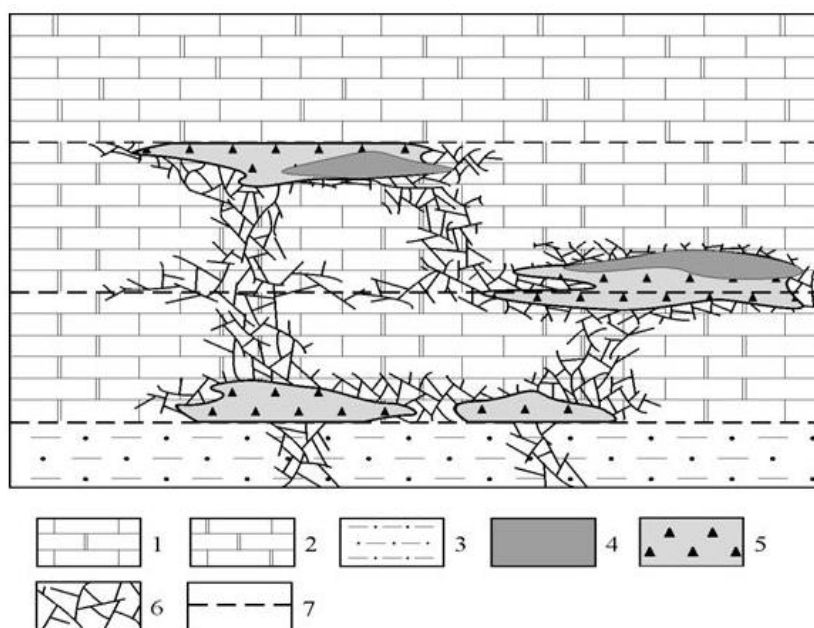


Рис. 29. Схема распределения природных типов руд в разрезе месторождения Северный Кенколь. Условные обозначения: 1-3 – вмещающие породы: 1- доломитистые известняки; 2 – известковистые доломиты; 3 – аргиллиты; 4 – существенно баритовые руды, массивные и линзовидно-полосчатые; 5 – кальцит-баритовые руды, брекчиевидные; 6 – зоны прожилковой баритовой минерализации; 7 – границы литологических горизонтов

Минеральный состав руд: главные - барит и кальцит, второстепенные - кварц, доломит, гематит и гетит в сумме не превышают первые проценты от рудной массы.

Барит в рудах образует агрегаты, отдельные зерна, прожилки и пятнообразные выделения. Основная масса руды сложена зернами удлиненно таблитчатой формы размером от 0,01 до 0,1 мм. Барит также встречается в виде редких сферолитов размером до 0,5 см в диаметре; форма зерен их слагающих игольчатая, клиновидная. В пятнообразных выделениях барит образует зерна таблитчатой формы размером 0,1-0,3 м; в прожилках встречается совместно с кальцитом.

Зерна кальцита имеют неправильную лапчатую форму размером 0,01-0,05 мм. В барит-кальцитовых прожилках зерна размером 0,1-0,3 мм характеризуются таблитчатым обликом. Тонкозернистый (0,005-0,01 мм) кварц отмечен в агрегативных обособлениях линзовидной или овальной формы размером до 1 см в поперечнике, гематит (0,05 мм) – в виде редкой спорадической вкрапленности.

Для существенно-баритовых руд характерны линзовидно-полосчатые текстуры (рис. 30а), для кальцит-баритовых руд – брекчиевые (рис. 30б), брекчиевидные, прожилкообразные (рис. 30в, г).

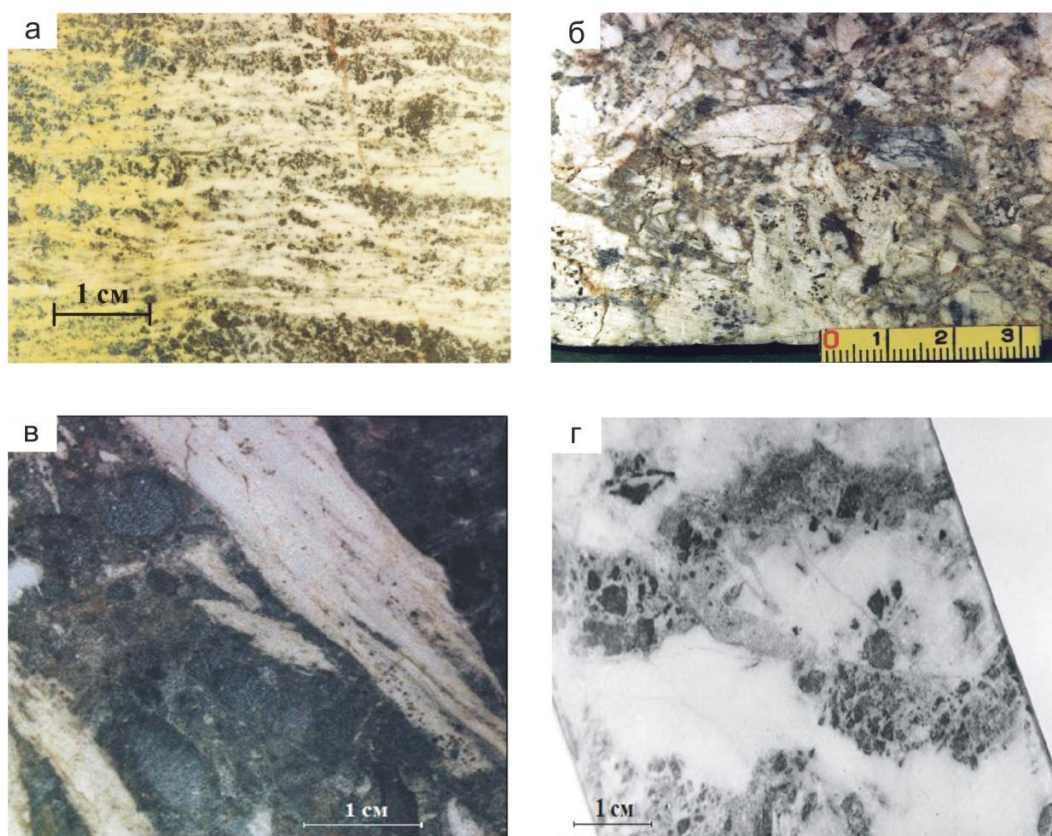


Рис. 30. Баритовая руда месторождения Северный Кенколь: а) линзовидно-полосчатая текстура. Метасоматический барит (белое) цементирует и замещает линзовидные и округлые агрегаты известняка (темно-серое), формируя прерывистые выклинивающиеся слойки различной мощности. Полированный штуф, левая часть штуфа прокрашена хроматом калия, барит окрашен в желтый цвет; б) мелкообломочная брекчия. Продолговатые изометричные и неправильной формы обломки барита (белое) в кальцитовой матрице (буровато-серое). Цемент контактовый, базальный (полированный штуф); в) обломки существенно-баритовой руды с реликтовой тонкополосчатой текстурой (белое) и доломита (темно-серое) сцементированы тонкозернистой кальцитовой массой (серое), в которой наблюдаются пятнообразные агрегаты позднего барита (белое) (полированный штуф); г) прожилковообразная текстура замещения. Обломки доломита (темно-серое) сцементированы баритовым агрегатом (светло-серое). Обломки и цемент замещаются баритом (белое) поздней генерации, образующим прожилки с характерными раздувами и пережимами. Последние включают, наряду с обломками доломита, и редкие обломки пирита (полированный штуф)

Чиганакское месторождение – типовое месторождение гидротермально-осадочного генезиса.

Месторождение находится в Прибалхашье (Южный Казахстан), в пределах Сарытумской тектонической зоны. Район месторождения сложен нижнеордовикскими отложениями кремнисто-терригенной формации, представленными бурубайтальской свитой.

Месторождение представляет собой пластовое тело протяженностью до 2000 м, залегающее согласно с вмещающими породами. Первичная пластовая форма рудного тела осложнена последующими дислокациями. В результате складчатости рудное тело поставлено почти «на голову», по многочисленным разрывным нарушениям пласт разбит на три блока, которые принято называть залежами (рис. 31).

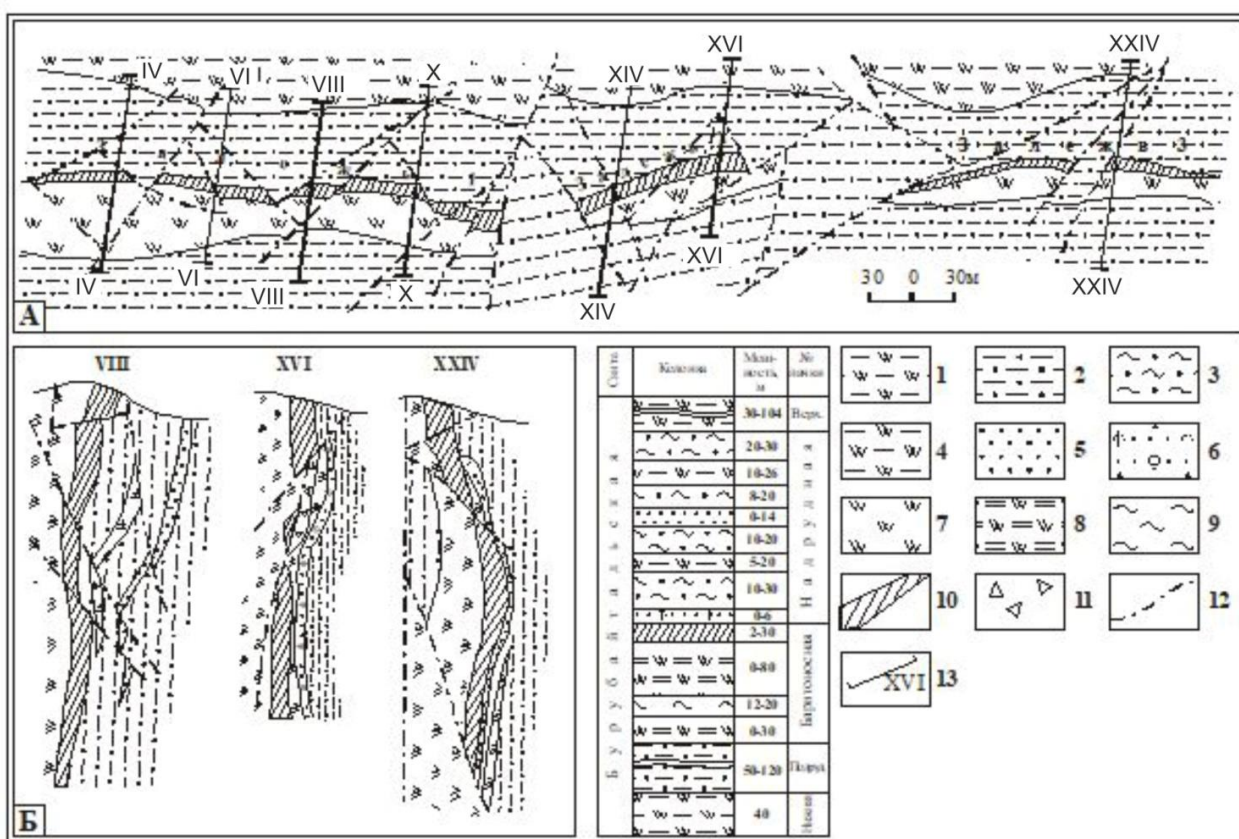


Рис. 31. Схема геологического строения Чиганакского месторождения: А – план; Б – геологические разрезы [2].

Условные обозначения: 1-9 – бурубайтальская свита (Є-О₁): 1 – верхняя и нижняя кремнистые пачки: яшмы, яшмокварциты; 2 – надрудная и подрудная терригенные пачки нерасчлененные; 3-6 – надрудная пачка: 3 – алевроглинистые сланцы; 4 – яшмы; 5 – песчаники и гравелиты; 6 – фосфатные песчаники; 7-9 – рудовмещающая пачка: 7 – нерасчлененная; 8 – полосчатые яшмокварциты; 9 – кремнисто-глинистые сланцы; 10 – рудное тело; 11 – тектонические брекчии; 12 – тектонические нарушения; 13 – разведочные профили

Рудное тело складывается существенно-баритовыми и кремнисто-баритовыми рудами, обладающими массивными, полосчатыми и конкреционными текстурами, распределение которых на месторождении отображено на рис. 32.

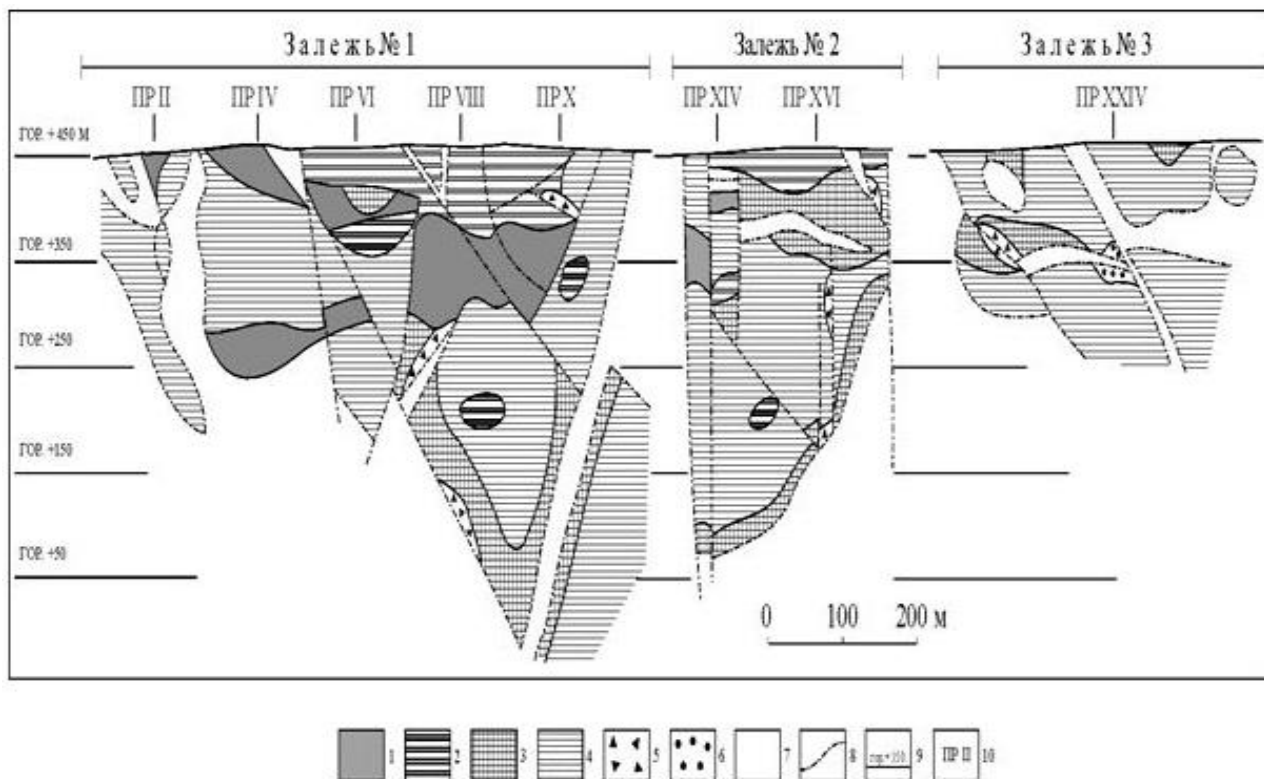


Рис. 32. Распределение природных типов руд в рудном теле Чиганакского месторождения, проекция на вертикальную плоскость [2]. Условные обозначения: 1-6 – природные типы руд: 1-2 – существенно-баритовый: 1 – массивные; 2 – полосчатые; 3-6 – кремнисто-баритовый: 3 – массивные; 4 – полосчатые; 5 – брекчиевидные; 6 – конкреционные; 7 – «окна» пустых пород; 8 – разрывные нарушения; 9 – разведочные горизонты; 10 – разведочные профили

Главными рудообразующими минералами являются барит и кварц, второстепенными: халцедон, кальцит, пирит, гематит, минералы группы лимонита, псиломелан, хлорит, каолинит, монтмориллонит, серицит. Количество их в составе руды настолько незначительно, что они не оказывают существенного влияния на качество руды и получаемый из нее конечный товарный продукт.

Барит в виде таблитчатых, призматических, реже клиновидных, брусковидных и пластинчатых зерен размером от 0,5 мм до первых см образует конкреции и субпараллельные наслаению или произвольно ориентированные агрегаты в микро-, мелкозернистой кварцевой массе кремнисто-баритовых руд, формируют сферолиты и слагают основную массу в существенно-баритовых рудах. Таблитчатые и несовершеннотаблитчатые зерна барита размером от 0,1 до 0,5

мм выполняют межзерновое пространство среди крупно-, среднекристаллического барита, образуют мономинеральные тонкие слойки в кремнисто-баритовых рудах, в конкреционных образованиях развиваются по границам клиновидных или пластинчатых крупных кристаллов.

Тонкозернистый (менее 0,1 мм) барит образует реакционные каемки мощностью до 0,05-0,1 мм вокруг крупных идиоморфных кристаллов барита, в конкреционных рудах слагает периферийные оторочки стяжений, мощностью 0,5-0,7 см, в ассоциации с кальцитом и кварцем слагают прожилки, а в рудах с брекчиевыми текстурами присутствуют в составе цемента.

Среди минералов кремнезема преобладает кварц; халцедон встречается в незначительных количествах. Кварц образует мозаичные агрегаты мельчайших (<0,01 мм) изометричных зерен, которые слагают совместно с халцедоном кремнистые или в ассоциации с баритом кварц-баритовые прослойки в кремнисто-баритовых рудах; ксеноморфные зерна размером в десятые доли мм в агрегатных скоплениях среди массы криптозернистого кварца, и зерна изометричной или шестоватой формы размером 0,02-0,5 мм, в ассоциации с кальцитом и баритом, выполняющие секущие прожилки.

Остальные минералы встречаются в составе прожилков, секущих руду (кальцит, лимонит, псиломелан, глинистые минералы) или образуют спорадическую или послойную вкрапленность (пирит).

Для руд Чиганакского месторождения преимущественно характерны текстуры, формирующиеся в процессе седиментации и диагенеза (массивные, полосчатые и конкреционные). Руды, сформированные в результате эпигенетических процессов (брекчиевая и прожилковая текстуры), имеют подчиненное значение.

Массивные и полосчатые текстуры присущи как существенно-баритовым, так и кремнисто-баритовым рудам (рис. 33а, б, в, г).

Руды, обладающие конкреционной текстурой, представляют собой слои кремнистых, кремнисто-глинистых и алевро-глинистых пород, в которых фиксируются стяжения барита шарообразной, овальной или уплощенной формы (рис. 33д, е). Брекчиевые и прожилковые руды встречаются локально, исключительно в зонах тектонических нарушений.

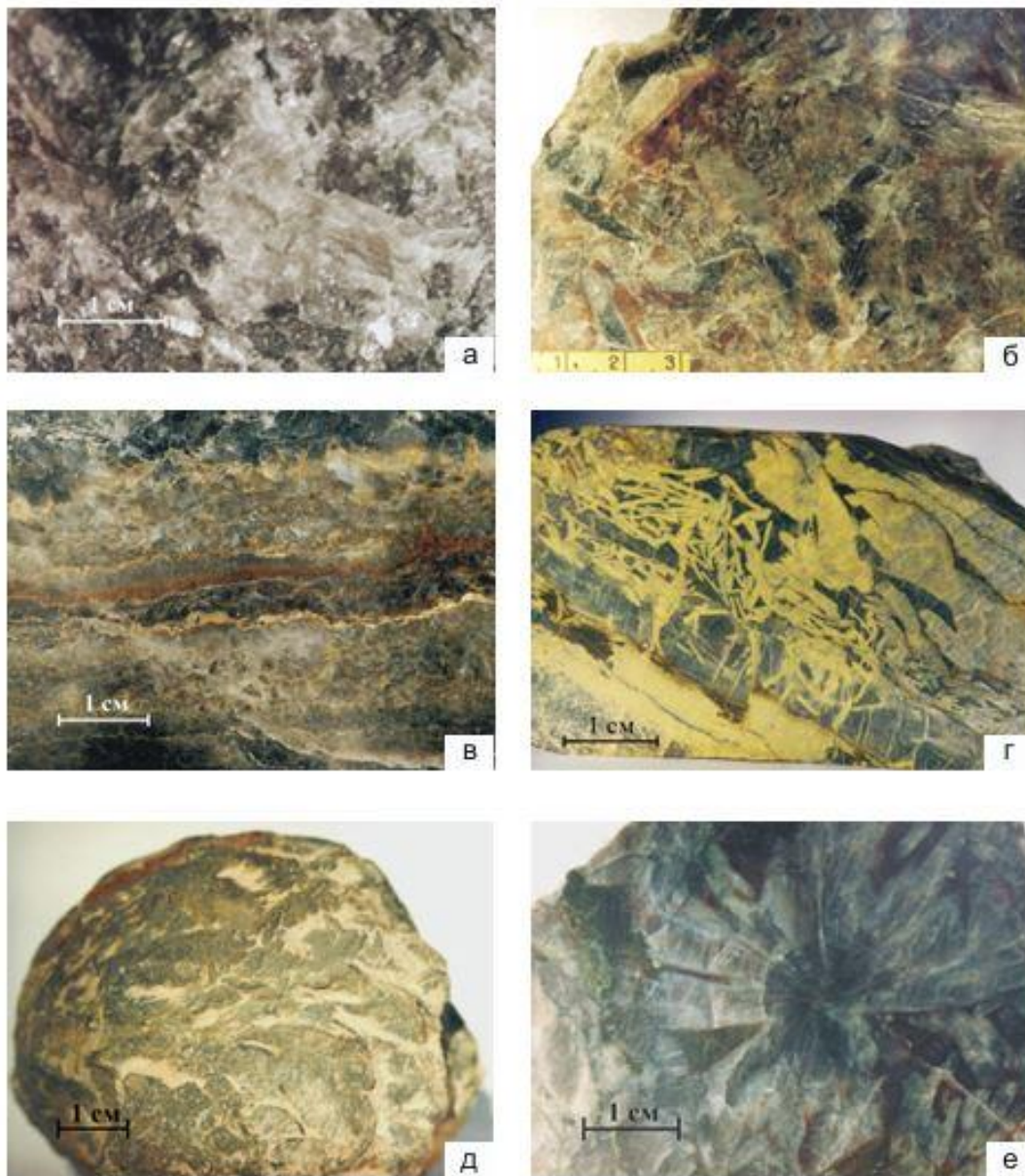


Рис. 33. Баритовая руда Чиганакского месторождения: а) массивная существенно баритовая руда. Присутствие тонко распыленного углистого вещества обуславливает цветовую неоднородность баритового агрегата (штуф); б) массивная кремнисто-баритовая руда. Таблитчатые кристаллы барита разной размерности и цвета (светло-серые, темно-серые) образуют тесно сросшийся агрегат с криптозернистым кремнистым веществом (бурое, коричневое) (полированный штуф); в) полосчатая существенно-баритовая руда. Мелкозернистым баритом сложены темно-серые прослои, крупнозернистым – светло-серые (полированный штуф); г) ритмично-полосчатая текстура в кремнисто-баритовой руде. Ритмичность определяется сменой кремнистых слоев кремнисто-баритовыми с характерной порфировидной структурой, которые сменяются существенно-баритовыми (полированный штуф); д) шарообразная баритовая конкреция; е) Радиально-лучистая конкреция барита. Отчетливо видны две зоны, отвечающие двум стадиям роста барита. Центральная зона (темно-серое) сложена плотно прилегающими вытянутыми зернами барита, растущими радиально из центра, внешняя (светло-серое) – веерообразно расходящимися крупнокристаллическими индивидами барита. Между кристаллами барита – криптозернистое кремнистое вещество (темно-коричневое) (полированный штуф)

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Самостоятельная работа студентов включает в себя работу с учебными коллекциями минералов и руд полезных ископаемых кафедры региональной геологии и полезных ископаемых, расположенными в кабинетах 208 и 518 Института геологии и нефтегазовых технологий, а также подразумевает ознакомление с рекомендованной литературой из списка, предложенного ниже.

Выполнение самостоятельной работы: Студент проводит самостоятельное изучение образцов баритовых руд из учебных коллекций, при этом может быть использована рекомендованная литература.

Проводится визуальное изучение и подробное макро-описание нескольких образцов баритовых руд, включая определение минерального состава, структурно-текстурных особенностей и других характеристик, при этом необходимо использовать приведенную схему описания образца баритовой руды и обязательно указывать номер образца и лотка изучаемой руды из учебной коллекции. Данное учебно-методическое пособие содержит основную информацию по необходимым пунктам (например, для характеристики структур и текстур руд) и поможет при выполнении задания.

СХЕМА ОПИСАНИЯ ОБРАЗЦА БАРИТОВОЙ РУДЫ

1. Название образца баритовой руды (с учетом ее минерального состава)
2. Цвет образца руды
3. Минеральный состав: перечислить минералы образца баритовой руды - главные (более 10%), второстепенные (количество в пределах 1-10%), примесные (менее 1%), указать процентное содержание каждого минерала
4. Охарактеризовать отдельно минералы руды по следующим критериям: цвет минерала, размер, форма, степень идиоморфизма зерен
5. Структура руды
6. Текстура руды
7. Определить условия образования баритовой руды

Критерии оценивания выполненного задания: оценивается выполнение полного и подробного описания образцов баритовых руд по требуемой схеме, при этом особое внимание следует уделить пунктам: минеральный состав и характеристика отдельных групп минералов, структура и текстура, условия образования руды. Кроме того, важным будет установить взаимосвязь внешнего облика руды с ее составом и условиями формирования.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Дайте расширенное определение терминов: полезное ископаемое, месторождение полезного ископаемого, промышленное разделение полезных ископаемых, геологическое тело, рудопроявление, руда, кондиции, полезный компонент, запасы месторождений.
2. Перечислите основные направления использования баритового сырья.
3. Барит и его основные свойства.
4. Как используется барит в нефтяной и газодобывающей промышленности?
5. Использование барита в строительной промышленности.
6. Как вы понимаете термин: геолого-промышленная классификация месторождений барита?
7. Вещественный состав баритовых руд – что подразумевается под этим термином?
8. На какие морфологические типы подразделяются месторождения барита?
9. Назовите отличительные признаки баритовых месторождений – собственно баритовых и комплексных баритовых.
10. Какие геолого-промышленные типы выделяются в группе собственно-баритовых месторождений?
11. Перечислите основные признаки геолого-промышленных типов баритовых месторождений.
12. Что вы понимаете под термином «рудная формация»?
13. Кора выветривания остаточного типа и особенности баритового оруденения.
14. Перечислите основные типы россыпей, условия образования и рудоносность.
15. Основные типы и вещественный состав сульфидно-баритовых месторождений.
16. Формы залегания баритовых руд в группе флюорит-баритовых месторождений.
17. Перечислите главные рудообразующие минералы группы барита.
18. Сульфат бария в руде определяет промышленную значимость руды. На какие типы по его содержанию подразделяются баритовые руды?
19. Дайте расширенное определение понятия «структура баритовой руды».
20. Наблюдаемые в баритовых рудах структуры могут быть объединены в четыре морфогенетические группы. Перечислите эти группы.
21. Рудам присущи разнообразные морфологические виды зернистых структур, различающиеся формой и характером срастания образующих их минералов. Перечислите морфологические виды зернистых структур.
22. Назовите условия формирования коррозионных структур.

23. Перечислите основные признаки кристаллобластических структур и последовательность процессов формирования кристаллобластов барита.
24. Охарактеризуйте влияние процессов динамометаморфизма (катакластического метаморфизма) на формирование катакластических структур баритовых руд.
25. Продолжите определение: Текстура руды – это особенности строения рудной массы, обусловленные...
26. Перечислите основные семь групп текстур, характерные для баритовых руд.
27. Какие текстуры характеризуют более или менее равномерное распределение минеральных агрегатов одинакового или разного размера, форм, а также беспорядочное строение руды?
28. Как называются текстуры, в которых наблюдается чередование полос, отличающихся друг от друга составом, структурой, окраской (или ее интенсивностью), размерностью или различным сочетанием перечисленных признаков?
29. Текстурно-структурный облик руды определяется условиями отложения рудного материала. Как образуются друзовые текстуры?
30. Перечислите природные типы баритовых руд.
31. Охарактеризуйте условия образования и вещественный состав существенно-баритовых руд.
32. Охарактеризуйте условия образования и вещественный состав карбонатно-баритовых руд.
33. Охарактеризуйте условия образования и вещественный состав кремнисто-баритовых руд.
34. Охарактеризуйте условия образования и вещественный состав кремнисто-карбонатно-баритовых руд.
35. Охарактеризуйте условия образования и вещественный состав карбонатно-кремнисто-глинисто-баритовых руд.
36. Охарактеризуйте условия образования и вещественный состав карбонатно-баритовых сульфидсодержащих руд.
37. Охарактеризуйте условия образования и вещественный состав песчано-глинисто-баритовых руд.
38. Как проводится полевое изучение баритовых руд? Перечислите основные направления этих работ и ведущие методы полевых изучений.
39. Перечислите рекомендуемые методы лабораторных изучений баритовых руд.
40. Назовите основные направления работ при оптико-минералогических исследованиях баритовых руд.

41. Перечислите современные физические методы изучения баритовых руд.
42. Какие типоморфные свойства барита используются для определения генетического типа баритового оруденения?
43. Изучите таблицу 4, где приведены наиболее информативные типоморфные признаки баритов. Какие данные использовались для их выделения и охарактеризуйте основные генетические типы месторождений.
44. Изучите пример типового месторождения баритовых руд гидротермального генезиса Немир.
45. Изучите пример типового месторождения баритовых руд гидротермально-осадочного генезиса Чиганакское.
46. Какие природные типы руд характерны для месторождения Чиганакское?
47. Изучите пример типового месторождения баритовых руд гидротермально-метасоматического генезиса Северный Кенколь.
48. Баритовое оруденение месторождения Северный Кенколь представлено серией метасоматических тел сплошных баритовых руд и баритовых брекчий. Какие структурно-текстурные признаки метасоматического барита?
49. Есть ли отличительные признаки минерального состава различных генетических типов баритовых руд?
50. Охарактеризуйте современное состояние минерально-сырьевой базы барита Российской Федерации с указанием геолого-промышленных типов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный в пособии широкий круг вопросов, связанных с условиями формирования баритовых месторождений и типоморфных особенностей барита, имеет не только прикладное, но и научное значение, поскольку барит является чувствительным индикатором палеогидротермальных систем и геохимических процессов.

Практическая значимость данного пособия состоит в том, что оно обеспечивает методологическую основу для исследования: знакомит будущих специалистов как с современными способами и методами проведения анализов, так и с геологическими закономерностями, необходимыми для корректной интерпретации полученных данных.

Авторы надеются, что пособие будет полезным для студентов в процессе аудиторного и самостоятельного обучения, при выполнении курсовых и дипломных работ, а также окажет помощь геологам-практикам, чья деятельность связана с изучением и оценкой месторождений полезных ископаемых.

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолов В.А. Разведка и геолого-промышленная оценка месторождений полезных ископаемых / В.А. Ермолов. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2005. – 392 с.
2. Неметаллические полезные ископаемые СССР / под ред. В.П. Петрова. – М.: Недра, 1984. – 407 с.
3. Авдонин В.В. Геология полезных ископаемых: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.В. Авдонин, В.И. Старостин. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 384 с.
4. Промышленные типы месторождений неметаллических полезных ископаемых: учеб. для геол. спец. вузов / А.Е. Корякин, П.А. Строна, Б.Н. Шаронов и др. – М.: Недра, 1985. – 296 с.
5. Еремин Н.И. Неметаллические полезные ископаемые: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Н.И. Еремин. – М.: Изд-во Моск. ун-та, Академкнига, 2007. – 458 с.
6. Ахманов Г.Г. Информативность типоморфных свойств барита при определении генезиса оруденения / Г.Г. Ахманов, И.П. Егорова // Руды и металлы. – 2011. – №3-4. – С. 16–17.
7. Ахманов Г.Г. Способ определения генезиса баритовых месторождений на ранних стадиях геологоразведочных работ / Г.Г. Ахманов, И.П. Егорова, Т.А. Булаткина // Разведка и охрана недр. – 2017. – №4. – С. 11–15.
8. Исследование баритовых руд комплексом физико-химических методов: методические рекомендации. – М., 2004. – 79 с.
9. Ахманов Г.Г. Барит / Г.Г. Ахманов, Н.Г. Васильев // Количественная и геолого-экономическая оценка ресурсов неметаллических полезных ископаемых: в 3 т. – Казань: ЗАО «Новое знание», 2007. – Т. 2: Горнотехническое сырье. – С. 58–123.
10. Атамбекова А.К. Исследование физико-химических свойств очищенного барита и их применение / А.К. Атамбекова // Бюллетень науки и практики. – 2025. – Т. 11. – №10. – С. 11–15.
11. Савичев К.С. Оценка эффективности составов для восстановления проницаемости призабойной зоны продуктивных пластов / К.С. Савичев, Р.А. Мусин, В.А. Капитонов, Д.В. Евдокимов, М.Е. Коваль, О.И. Валиева, Ф.К. Мингалишев, А.А. Николаев, Е.Ю. Пилипец // Нефтяное хозяйство. – 2024. – №9. – С. 107–111.
12. Кобылов Н.С. Исследование и разработка эффективных составов утяжеленных буровых растворов / Н.С. Кобылов, Б.Н. Хамидов, А.Ш. Шукуров, С.А. Кодиров, М.К.У. Хидиров // Инновационные технологии. – 2023. – №1. – С. 3–8.

13. Ахманов Г.Г. Геолого-поисковые модели и прогноз новых сырьевых баз барита / Г.Г. Ахманов, И.П. Егорова, Т.А. Булаткина, Н.Г. Васильев // Разведка и охрана недр. – 2009. – №10. – С. 8–12.
14. Егорова И.П. Типоморфные особенности барита / И.П. Егорова, Г.Г. Ахманов, Т.А. Булаткина // Отечественная геология. – 2010. – №3. – С. 3–8.
15. Ахманов Г.Г. К генезису травертиноподобных баритов Дерюгина (Охотское море) / Г.Г. Ахманов, И.П. Егорова и др. // Отечественная геология. – 2015. – №1. – С. 82–88.
16. Ахманов Г.Г. Барит / Г.Г. Ахманов // Фанерозойские осадочные палеобассейны России: проблемы эволюции и минерагения неметаллов. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. – С. 262–277.
17. Кузнецов Д.С. Баритовые месторождения Республики Коми и перспективы их освоения / Д.С. Кузнецов // Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера. – Сыктывкар: Коми республиканская типография, 2018. – С. 46–50.
18. Брусницын А.И. Барит-свинцовоцинковые и железо-марганцевые месторождения Жайремского рудного узла: геологическая экскурсия в центральный Казахстан / А.И. Брусницын, Е.Н. Перова, О.С. Верещагин, С.Н. Бритвин, Е.Ф. Летникова, С.И. Школьник, А.В. Иванов // Минералогия. – 2018. – № 4(3). – С. 82–92.
19. Герасимов Н.Н. Добыча и переработка баритового сырья / Н.Н. Герасимов // Горный журнал. – 2007. – № 3 – С. 75–79.
20. Касымов М.А. Формационные типы баритовых месторождений / М.А. Касымов // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2014. – №33. – С. 108–112.
21. Ермуханова С.Т. Методы переработки природного барита и получение искусственного сульфата бария / С.Т. Ермуханова, А.И. Хацринова // Тенденции развития науки и образования. – 2021. – №71-2. – С. 57–61.
22. Гринёв О.М. Морфоструктура и этапность формирования Змеиногорского барит-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай) / О.М. Гринёв, А.С. Семиряков, К.В. Бестемьянова, Р.О. Гринёв // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 8. – С. 81–95.
23. Юшкин Н.П. Бариты Уральско-Пайхойской провинции / Н.П. Юшкин, А.Ф. Кунц, Т.И. Таранина. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 337 с.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егорова И.П. Типоморфные особенности барита как индикатора генетического типа баритового оруденения: дис. ... канд. геолого-минер. наук / И.П. Егорова. – Казань, 2011. – 125 с.
2. Атлас руд баритовых месторождений / Г.Г. Ахманов, Н.Г. Васильев, Т.А. Булаткина, И.П. Егорова. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2000. – 140 с.
3. Методические рекомендации по проведению поисков при геолого-съёмочных работах масштаба 1:50000 (Неметаллические полезные ископаемые. Выпуск XV. Барит.) / сост. Г.Г. Ахманов. – Казань, 1989. – 37 с.
4. Ахманов Г.Г. Баритовые месторождения выветривания – перспективный источник высококачественного сырья / Г.Г. Ахманов, И.П. Егорова, Т.А. Булаткина // Отечественная геология. – 2016. – №2. – С. 23–31.
5. Ахманов Г.Г. Барит / Г.Г. Ахманов // Неметаллические полезные ископаемые СССР. Справочное пособие. – М.: Недра, 1984. – С. 312–325.
6. Ахманов Г.Г. Барит / Г.Г. Ахманов // Прогнозирование и поиск месторождений горнотехнического сырья / под ред. Е.М. Аксенова, Н.Н. Ведерникова и др. – М.: Недра, 1991. – С. 30–44.
7. Зевин Л.С. Количественный рентгенографический фазовый анализ / Л.С. Зевин, Л.Л. Завьялова. – М.: Недра, 1974. – 185 с.
8. Исаенко М.П. Определитель текстур и структур руд / М.П. Исаенко. – М.: Недра, 1975. – 229 с.
9. Костов И. Минералогия / И. Костов. – М.: Мир, 1971. – 584 с.
10. Strübel I. Zur Kenntnis und genetischen Bedeutung des system $BaSO_4-NaCl-H_2O$ / I. Strübel // Neues. Jahrb. Miner. – 1967. – Vol. 718. – P. 223–233.
11. Егорова И.П. Возможности использования типоморфных свойств барита из месторождений выветривания при поисках коренного оруденения / И.П. Егорова, Г.Г. Ахманов, Т.А. Булаткина // Породо-, минерало- и рудообразование: достижения и перспективы исследований. Труды к 90-летию ИГЕМ РАН. – М.: ИГЕМ РАН, 2020. – С.843–845.
12. Ахманов Г.Г. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы барита / Г.Г. Ахманов, И.П. Егорова, Т.А. Булаткина // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2017. – №6. – С. 4–14.
13. Королев Э.А. Бариты терригенных комплексов верхнеюрских отложений западной части Республики Татарстан / Э.А. Королев, Н.Н. Умарова, Р.А. Хасанов, Н.М. Низамутдинов, Н.М. Хасанова, В.М. Николаева, Э.И. Акдасов // Учен. зап. Казан. ун-та, Сер. Естеств. науки. – 2012. – Т. 154. кн. 3. – С. 173–185.

14. Аль-Хадж М.А.М. Минералогия и условия формирования барит-полиметаллического оруденения бассейна Вади Аль-Масила (Йемен): дис. ... канд. геолого-минер. наук / М.А.М. Аль-Хадж. – Казань, 2017. – 132 с.
15. Айдаралиев Ж.К. Оптимизация состава и свойств керамического композита на основе барита и бентонита / Ж.К. Айдаралиев, А.Т. Кайназаров, Б. Рашид кызы, И.Н. Пугачева, А. Суйунбек уулу // Нанотехнологии в строительстве. – 2025. – №17(6). – С. 715–732.
16. Юркевич Н.В. Аутигенный барит в техногенных отвалах: минералого-геохимические данные и результаты физико-химического моделирования / Н.В. Юркевич, А.Ш. Шавекина, О.Л. Гаськова, В.С. Артамонова, С.Б. Бортникова, С.С. Волынкин // Георесурсы. – 2024. – №26(1). – С. 38–51.
17. Брусницын А.И. Минералогия и условия формирования зоны окисления барит-свинцовых руд месторождения Ушкатын-III, Центральный Казахстан Бритвин / А.И. Брусницын, Е.Н. Перова, Е.С. Логинов, Н.В. Платонова, Л.А. Панова, О.С. Верещагин, С.Н. Бритвин // Записки РМО. – 2022. – Т. 151. – № 5. – С. 1–27.
18. Брусницын А.И. Месторождение Ушкатын-III: Ва–Pb, Fe, Mn руды в карбонатных отложениях палеорифта / А.И. Брусницын, Е.Н. Перова, О.С. Верещагин, С.Н. Бритвин. – СПб.: Скифия-принт, 2025. – 464 с.
19. Бестемьянова К.В. Минералогия барит-полиметаллических месторождений Змеиногорского рудного района (Рудный Алтай) / К.В. Бестемьянова, О.М. Гринев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – №9. – С. 210–222.
20. Боярко Г.Ю. Мировые ресурсы барита – критического минерального сырья / Г.Ю. Боярко, Л.М. Болсуновская // Горные науки и технологии. – 2023. – Т. 8. – №4. – С. 264–277.
21. Боярко Г.Ю. Обзор состояния производства и потребления баритового сырья в России / Г.Ю. Боярко, В.Ю. Хатьков // Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – №10(332). – С. 180–191.
22. Барит / отв. ред. В.П. Петров, И.С. Делицин. – М.: Наука, 1986. – 252 с.
23. Малинин С.Д. Физикохимические условия формирования месторождений барита и флюорита / С.Д. Малинин, Н.Е. Учамейшвили, Н.А. Куровская // Условия образования рудных месторождений: Труды VI симпозиума МАГРМ. – М.: Наука, 1986. – Т. 1. – С. 395–399.

24. Учамейшвили Н.Е. Геохимические данные к процессам формирования баритовых месторождений / Н.Е. Учамейшвили, С.Д. Малинин, Н.И. Хитаров. – М.: Наука, 1980. – 123 с.
25. Широбокова Т.И. Стратиформное полиметаллическое и баритовое оруденение Урала / Т.И. Широбокова. – Свердловск: УрО РАН, 1992. – 137 с.
26. Калинин Е.П. Бариты Республики Коми: современное состояние и перспективы развития / Е.П. Калинин // Вестник института геологии Коми Научного центра Уральского отделения РАН. – 2010. – №3(183). – С. 2–5.
27. Силаев В.И. Минералогические критерии типизации и оценки баритовой и баритсульфидной минерализации / В.И. Силаев, Г.С. Назарова, Г.В. Кузнецов, Т.И. Таранина // Сер. науч. докл. Коми филиала АН СССР, 1986. – Вып. 55. – 24 с.

Учебное издание

Егорова Ирина Петровна
Галияхметова Лилия Хуснулловна
Ситдикова Ляля Мирсалиховна
Сидорова Елена Юрьевна

ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ БАРИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ИХ РУДЫ

Учебно-методическое пособие

Подписано к использованию _____
Научная библиотека им. Н.И. Лобачевского